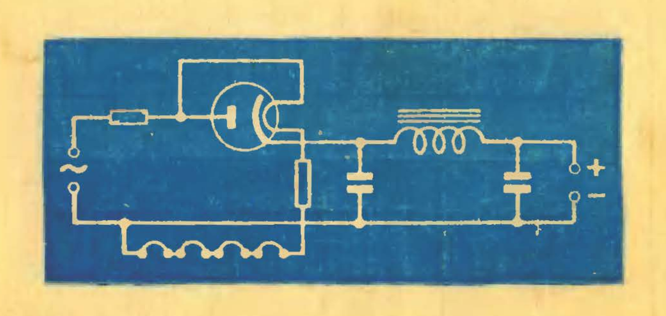
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА


Р. М. МАЛИНИН

ПИТАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ОТ ЭЛЕКТРОСЕТИ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА *А. И. БЕРГА*

Выпуск 89



Р. М. МАЛИНИН

ПИТАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ОТ ЭЛЕКТРОСЕТИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД



СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

КЕНОТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. Простейшие кенотронные выпрямители без трансформаторов 5
2. Однополупериодные выпрямители с трансформаторами и автотрансформаторами 23
3. Двухполупериодные выпрямители 29
4. Схемы выпрямителей с удвоением напряжения 37

СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. Селеновый выпрямительный столбик 45
2. Однополупериодные селеновые выпрямители 48
3. Двухполупериодные селеновые выпрямители 54
4. Мостовые схемы селеновых выпрямителей 56
5. Схемы селеновых выпрямителей с удвоением напряжения . . 59

СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

1. Назначение фильтров 61
2. Дроссельно-емкостный фильтр 64
3. Реостатно-емкостный фильтр 70
4. Многоячеечные фильтры 73
5. Электролитические конденсаторы 77

ПИТАНИЕ НАКАЛА

1. Питание накала от силовых трансформаторов и автотрансформаторов 79
2. Питание накала в бестрансформаторных схемах выпрямителей 80

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ, АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ И ДРОССЕЛИ ФИЛЬТРОВ

1. Конструкции трансформаторов, автотрансформаторов и дросселей 82
2. Расчет силовых трансформаторов 88
3. Расчет автотрансформаторов 96
4. Расчет дросселей 101

Книга предназначается для квалифицированных радиолюбителей, самостоятельно конструирующих и изготовляющих радиоприемники и усилители с электронными лампами. В ней приводятся практические схемы кенотронных и селеновых выпрямителей как бестрансформаторных, так и с силовыми трансформаторами и автотрансформаторами, однополупериодных и двухполупериодных. Описываются также схемы с удвоением напряжения. Даются указания по выбору кенотронов и селеновых столбиков для выпрямителей различных назначений и по расчету выпрямителей. Рассматриваются также различные типы сглаживающих фильтров к выпрямителям и дается их расчет.

При составлении настоящей брошюры автором была использована следующая литература:

1. А. М. Утевский, Теория и метод расчета m-фазных выпрямителей с емкостным фильтром. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1949.
2. Б. П. Терентьев, Выпрямители для радиоустройств. Связьрадиоиздат, Москва, 1938.
3. А. М. Кугушев, Электрическое питание радиоустройств. КУБУЧ, Ленинград, 1935.
4. Г. В. Войшвилло, Питание радиоприемников и усилителей. Связьтехиздат, Москва, 1936.
5. Г. С. Цыкин, Общие методы расчета выпрямителя, работающего на фильтр с емкостной реакцией. Связьтехиздат, Москва, 1936.
6. В. А. Михайлов, Расчет трансформаторов и дросселей, Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1949.
7. Д. А. Конашинский, Электрические фильтры. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1949.
8. Г. А. Сницерев, Расчет трансформатора по номограммам. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1949.
9. Ф. И. Тарасов, Как построить выпрямитель. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1949.
10. Б. Б. Гурфинкель, Приемно-усилительные электронные лампы. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1949.
11. А. З. Левинзон, Полупроводниковые выпрямители. Госэнергоиздат, Ленинград—Москва, 1948.

Редактор *Я. Л. Быховский* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 5 IX 1950 г. Подписано к печати 23 XI 1950 г.
Бумага 84×108$^1/_{32}$=1^5, бумажных — 5,33 п. л. Уч.-изд. л. 6,5. Зак. 2898.
Т-09171 Тираж 50 000 экз. Цена 3 р. 25 к.

Набрано в типографии Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

Отпечатано 3-й типографией «Красный пролетарий» Главполиграфиздата при Совете Министров СССР. Москва, Краснопролетарская, 16.

ВВЕДЕНИЕ

В приемниках и усилителях, питаемых от сети переменного тока, применяются почти исключительно лампы с подогревными катодами, при накаливании нитей которых непосредственно переменным током практически не возникает помех (фона) в громкоговорителях или телефонах. Лампы прямого накала применяются иногда только в оконечных каскадах. В последнем случае лампы с достаточно толстыми нитями, обладающими значительной тепловой инерцией, также не создают заметного фона.

Но для питания цепей анодов и сеток ламп переменный ток совершенно не пригоден. При подаче на их аноды переменного напряжения в громкоговорителе получается сильный фон и передача делается неразборчивой.

Чтобы использовать энергию переменного тока для питания анодных и сеточных цепей, нужно превратить переменное напряжение сначала в пульсирующее, т. е. в напряжение неизменного направления, но периодически меняющееся по величине, а затем уменьшить его пульсации до столь малой величины, что они не будут вызывать заметного фона в громкоговорителе.

Процесс превращения переменного напряжения в пульсирующее носит название выпрямления, а устройства, с помощью которых осуществляется такое преобразование, называются выпрямителями. Процесс уменьшения пульсаций называют сглаживанием пульсаций, а устройства, осуществляющие сглаживание пульсаций,— сглаживающими фильтрами. Часто выпрямителем на-

зывают комплекс деталей, в который входят как детали собственно выпрямителя, так и детали сглаживающего фильтра.

Питание приемников и усилителей от сети переменного тока чаще всего осуществляется с помощью кенотронных выпрямителей. Однако в последнее время для питания приемников стали довольно широко применять так называемые полупроводниковые выпрямители, главным образом селеновые.

Выбор той или иной схемы выпрямителя зависит от ряда вполне определенных условий. В тех случаях, когда нужно получить постоянный ток до 40—60 *ма*, можно применять наиболее простую — однополупериодную схему выпрямителя.

Если достаточно иметь выпрямленное напряжение с величиной, примерно равной эффективному напряжению сети, то применение силового трансформатора или автотрансформатора в выпрямителе не является обязательным.

При наличии электросети с напряжением 120—127 *в* и необходимости иметь выпрямляемое напряжение около 200 *в* при токе в несколько десятков миллиампер, можно использовать бестрансформаторную схему с удвоением напряжения или однополупериодную схему с автотрансформатором.

Выпрямленные напряжения до 500 *в* при таких относительно небольших токах можно получить с помощью однополупериодной схемы с автотрансформатором.

Для получения постоянных напряжений в несколько тысяч вольт для питания анодов электроннолучевых трубок строятся однополупериодные схемы с повышающими трансформаторами.

Двухполупериодные схемы следует применять, когда нужно иметь выпрямленный ток больше 60—100 *ма*. Как правило, двухполупериодный выпрямитель строится с трансформатором.

Селеновый двухполупериодный выпрямитель может не иметь трансформатора, если требуется выпрямленное напряжение, не превышающее эффективного напряжения электросети; в этом случае выпрямитель должен быть выполнен по мостовой схеме. Последняя является наиболее целесообразной и для селенового выпрямителя с трансформатором, так как для нее необходимо вдвое меньшее напряжение на повышающей обмотке, чем для обычной схемы.

В селеновом выпрямителе по мостовой схеме вместо трансформатора может быть применен автотрансформатор. Если имеется выбор между кенотронным и селеновым выпрямителем, следует предпочтение отдавать селеновому выпрямителю. Последний работает тысячи часов, не требуя замены частей.

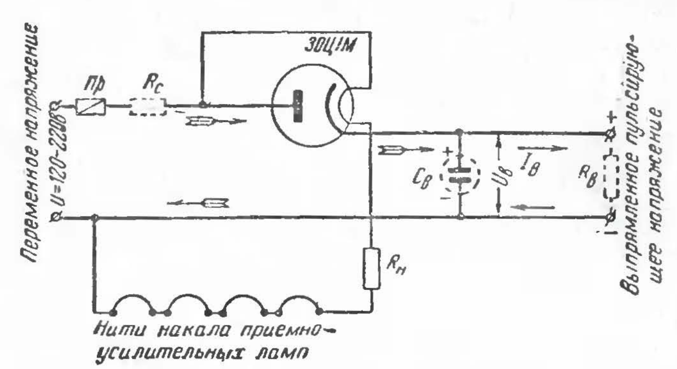
Селеновый выпрямитель с силовым трансформатором или автотрансформатором помимо того имеет больший к. п. д., так как не требует электроэнергии на накал.

В заключение отметим, что при использовании бестрансформаторного выпрямителя или выпрямителя с автотрансформатором питаемая от него схема приемника или усилителя всегда имеет непосредственное электрическое соединение с проводами электросети. Если такое соединение недопустимо, то следует применять схемы с силовым трансформатором.

КЕНОТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. ПРОСТЕЙШИЕ КЕНОТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ БЕЗ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Простейший кенотронный выпрямитель. Схема простейшего кенотронного выпрямителя показана на фиг. 1. В такой схеме можно применить кенотрон типа 30Ц1М с напряжением накала 30 *в* и током накала 0,3 *а*. В ней можно



Фиг. 1. Принципиальная схема простейшего однополупериодного кенотронного выпрямителя.

также использовать двуханодный кенотрон типа 30Ц6С, соединив между собой его аноды, а также и катоды.

Нить накала кенотрона в схеме фиг. 1 включается непосредственно в сеть переменного тока через сопротивление $R_н$. Последовательно с нитью накала кенотрона и сопротивлением могут быть включены также нити накала приемно-усилительных ламп, питаемых с помощью этого выпрямителя, как показано на той же фиг. 1. Величина $R_н$ должна

быть такой, чтобы через нить кенотрона шел нормальный для его накала ток.

Анод кенотрона соединен непосредственно с одним из проводов сети переменного тока. Конденсатор $C_в$, включенный между катодом кенотрона и вторым проводом сети, является элементом, сглаживающим пульсации выпрямленного напряжения.

Работа выпрямителя без нагрузки. После включения выпрямителя в сеть требуется около полминуты на то, чтобы катод кенотрона разогрелся и начал бы испускать электроны. Тогда, во время тех полупериодов переменного напряжения, при которых на анод кенотрона поступает положительное напряжение, электроны, излучаемые катодом, будут притягиваться анодом, и через кенотрон будет проходить электрический ток в направлении, показанном стрелками. Этот ток будет заряжать конденсатор $C_в$. Во время полупериодов другого знака, когда на аноде кенотрона получается отрицательное напряжение по отношению к его катоду, электроны анодом притягиваться не будут, и через кенотрон ток не пойдет.

Следовательно, ток через кенотрон будет иметь и м п у л ь с н ы й характер. Эти импульсы будут создавать на конденсаторе электрический заряд с плюсом на верхней по схеме обкладке и с минусом на нижней обкладке.

Так как ток от сети в схеме фиг. 1 может проходить через кенотрон только во время одного полупериода, такой выпрямитель называется о д н о п о л у п е р и о д н ы м.

Если конденсатор не имеет утечки, т. е. не может разряжаться через свой диэлектрик, и между зажимами «+» и «—» не будет включено нагрузки, то получаемая конденсатором через кенотрон электрическая энергия никуда расходоваться не будет. В результате за время, пока катод кенотрона разогревается, конденсатор $C_в$ от некоторого количества импульсов полностью зарядится, после чего импульсы тока через кенотрон не будут проходить даже при положительном напряжении на аноде. Происходит это потому, что напряжение на конденсаторе достигает амплитудного значения напряжения в сети, т. е. напряжение на аноде кенотрона никогда не становится более положительным, чем напряжение на катоде, соединенном с конденсатором. Так как амплитудное значение синусоидального напряжения

в 1,41 раза больше его эффективного значения, то при включении выпрямителя в 127-вольтовую сеть конденсатор зарядится до напряжения $U_в = 127 \times 1{,}41 = 178$ *в*, а при 220-вольтовой сети до $U_в = 220 \times 1{,}41 = 310$ *в*.

Амплитуда обратного напряжения. Так как сеть и конденсатор $C_в$ включены по отношению к кенотрону последовательно, то во время того полупериода напряжения в сети, когда на катод кенотрона через $C_в$ поступает положительное напряжение, напряжение сети в любой момент времени арифметически складывается с напряжением конденсатора. В тот же момент времени, когда напряжение сети достигает амплитудного значения, катод кенотрона имеет по отношению к аноду напряжение, вдвое большее амплитудного значения напряжения сети или в $2 \times 1{,}41 = 2{,}82$ раза больше эффективного напряжения сети. Это напряжение носит название амплитуды обратного напряжения. Очевидно, что при 127-вольтовой сети амплитуда обратного напряжения $U_{m\,обр} = 127 \times \times 2{,}82 = 356$ *в*, а при 220-вольтовой сети $U_{m\,обр} = 220 \times \times 2{,}82 = 620$ *в*.

При выборе кенотрона необходимо учитывать, чтобы $U_{m\,обр}$ не превышало максимальной, допускаемой для него амплитуды обратного напряжения, иначе лампа станет пропускать ток в обратном направлении или может быть повреждена чрезмерно высоким для нее обратным напряжением.

Работа выпрямителя на нагрузку. Приемник, усилитель или другой какой-либо радиоприбор, питаемый от выпрямителя, является нагрузкой для выпрямителя. Нагрузка включается между зажимами «+» и «—» выпрямителя и через нее течет ток постоянного направления за счет разряда конденсатора.

Введем понятие эквивалентное сопротивление нагрузки. Эквивалентным сопротивлением нагрузки будем называть активное сопротивление такой величины, через которое при включении его вместо нагрузки пойдет такой же ток, как и через реальную нагрузку.

В реальном выпрямителе ток на нагрузку идет всегда через дроссель или сопротивление фильтра, поэтому величину активного сопротивления обмотки дросселя или заменяющего его безиндуктивного сопротивления будем считать

входящим в состав эквивалентного сопротивления. Пользуясь принятым нами понятием эквивалентного сопротивления нагрузки, обозначим условно нагрузку выпрямителя в виде сопротивления $R_в$.

Итак, через нагрузочное сопротивление $R_в^*$ конденсатор будет разряжаться. Но при этом во время каждого положительного полупериода напряжения на аноде через кенотрон будет проходить ток, восполняющий запас энергии на конденсаторе и частично ответвляющийся через нагрузку. Можно считать, что в те моменты, когда кенотрон пропускает через себя ток, ток через нагрузку выпрямителя создается главным образом за счет этого тока; в перерывах же между импульсами тока через кенотрон через нагрузку будет итти только разрядный ток конденсатора. Вследствие этого напряжение на $C_в$ и на нагрузке выпрямителя, а также и ток через нагрузку будут непрерывно изменяться (фиг. 2).

Величины выпрямленного напряжения и тока через нагрузку один раз за период T переменного тока будут наибольшими и один раз за период наименьшими.

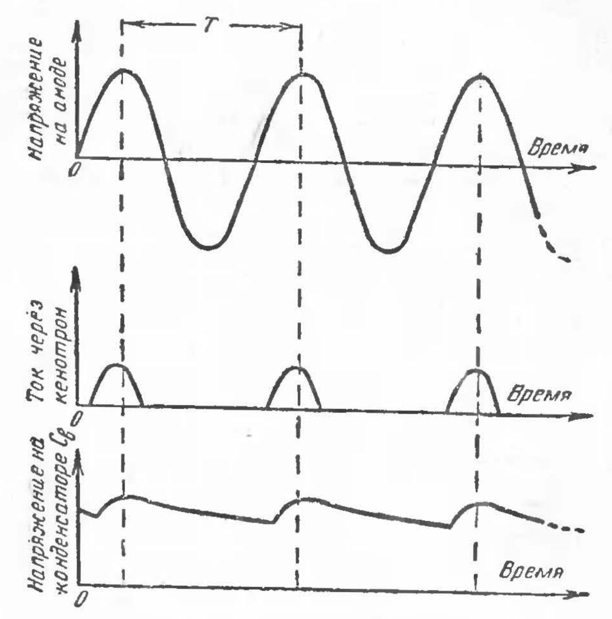
Пульсация. Периодически изменяющиеся по величине, но не меняющиеся по знаку напряжение и ток носят название пульсирующих напряжения и тока, а сам процесс изменения их величины называется пульсацией. Число максимальных (или минимальных) значений напряжения и тока в секунду носит название частоты пульсации. Из фиг. 2 очевидно, что частота пульсации выпрямленного напряжения и тока, даваемого однополупериодным выпрямителем, равна частоте переменного тока, питающего этот выпрямитель, 50 *гц*.

---

* Если после сглаживания выпрямленного напряжения фильтром на приемник или усилитель подается напряжение $U_ф$ при токе $I_в$, то сопротивление нагрузки этого приемника или усилителя будет определяться как отношение $U_ф : I_в$ (если $U_ф$ выражено в вольтах, а $I_в$ в амперах). Если же выразить $I_ф$ в миллиамперах, то сопротивление нагрузки определится как $1\,000\ U_ф : I_в$. Но разрядный ток конденсатора $C_в$ будет проходить через сопротивление фильтра $R_ф$. Следовательно, эквивалентное сопротивление нагрузки для конденсатора $C_в$ будет равно:

$$R_в = \frac{1\,000 \cdot U_ф}{I_в} + R_ф.$$

Пульсирующее напряжение можно представить как сумму одновременно действующих в цепи напряжений: 1) постоянного, 2) переменного, имеющего частоту, равную частоте питающего выпрямитель переменного тока 50 *гц*, и 3) ряда напряжений с частотами, в целое число раз большими этой частоты, т. е. в 100, 150, 200 *гц* и т. д. Постоян-



Фиг. 2. Диаграммы токов и напряжений в схеме однополупериодного выпрямителя.

ное напряжение в этом случае обычно называется постоянной слагающей (или составляющей), а переменные напряжения — переменными слагающими (составляющими) выпрямленного напряжения. Амплитуды переменных составляющих выпрямленного напряжения, как правило, всегда меньше величины его постоянной составляющей. При этом амплитуды с частотами в 100 *гц* и больше обычно настолько малы, что с их наличием при расчетах можно практически не считаться, принимая во внимание только одну переменную слагающую напряжения, имеющую частоту питающего переменного тока 50 *гц*. Эта слагающая называется основной частотой пульсации. То же

самое можно сказать о постоянной и переменных слагающих тока, текущего через нагрузку выпрямителя.

Ниже будет описано устройство сглаживающих фильтров к выпрямителям, которые позволяют уменьшить величину переменной слагающей.

Коэффициент пульсации. При расчетах выпрямителей и фильтров к ним величину пульсации чаще всего оценивают не по значению напряжения переменной слагающей (в вольтах), а с помощью так называемого процента пульсации или коэффициента пульсации. Коэффициентом пульсации называется число, показывающее, какую часть от величины постоянной слагающей в процентах составляет амплитуда переменной слагающей. Его обозначают буквой *p*.

Обозначив $U_в$ величину постоянной составляющей напряжения, а U_m — амплитуду переменной слагающей основной частоты, коэффициент пульсации напряжения можно вычислить по следующей формуле:

$$p=\frac{U_m}{U_в}\cdot 100\ \%. \qquad (1)$$

Соответственно, обозначив $I_в$ ток постоянной слагающей и I_m — амплитуду тока переменной слагающей основной частоты, будем иметь:

$$p=\frac{I_m}{I_в}\cdot 100\ \%. \qquad (1')$$

Чем больше емкость $C_в$ и чем слабее будет ток через нагрузку выпрямителя (т. е. чем больше $R_в$), тем меньше будет амплитуда переменной слагающей и тем больше будет постоянная слагающая напряжения на конденсаторе. Наоборот, при уменьшении $C_в$ и при увеличении тока, отбираемого от выпрямителя нагрузкой, U_m будет увеличиваться, а $U_в$ уменьшаться; иначе говоря, *p* будет возрастать. Следовательно, от емкости $C_в$ зависит как постоянная слагающая, так и коэффициент пульсации напряжения, получающегося на этом конденсаторе.

Физически это явление может быть представлено следующим образом. Чем больше $C_в$, тем больше электрической энергии он может в себе запасти. С другой

стороны, чем больше будет $I_в$, тем большее количество энергии конденсатор будет отдавать в промежутках между импульсами тока через кенотрон.

Но напряжение на конденсаторе уменьшается с уменьшением содержащейся в нем энергии. Следовательно, при том же разрядном токе на конденсаторе, обладающем большей емкостью, к началу очередной зарядки напряжение будет меньше отличаться от напряжения в конце предыдущей зарядки, т. е. будет в среднем иметь большую величину и в меньшей мере изменяться во времени. Наоборот, конденсатор меньшей емкости при том же разрядном токе будет отдавать в промежутках между импульсами относительно бóльшую часть своей энергии, напряжение на нем к началу следующей зарядки упадет больше и $U_в$ станет меньше, а U_m больше.

Выбор конденсатора. С первого взгляда может показаться, что безразлично, какова будет емкость конденсатора $C_в$ и какова будет пульсация выпрямленного напряжения на нем, так как выпрямленный ток пропускается через фильтр, а последний можно принципиально рассчитать таким образом, что после него получится выпрямленное напряжение со сколь угодно малым коэффициентом пульсации. Однако такое предположение неверно.

Дело в том, что в выпрямителях для питания современных радиоприемников и усилителей применяются почти исключительно электролитические конденсаторы, которые могут нормально работать только в том случае, если коэффициент пульсации подаваемого на них выпрямленного напряжения не превышает некоторой определенной величины. Если амплитуда переменной слагающей напряжения будет больше допустимой, возрастает утечка тока через конденсатор, уменьшается его емкость, конденсатор нагревается и может прийти в негодность.

Электролитические конденсаторы, предназначенные для использования в фильтрах выпрямителей, могут нормально работать, если коэффициент пульсации действующего на них выпрямленного напряжения не превышает 5%. Только для конденсаторов емкостью меньше 10 *мкф* можно допускать коэффициент пульсации до 7—8%.

Поэтому расчет выпрямителя для питания радиоприемника или усилителя нужно всегда начинать с выбора емкости конденсатора $C_в$, обеспечивающей такие условия работы схемы, при которых коэффициент пульсации выпрямленного напряжения на $C_в$ не превышает величин, указанных выше.

Конденсатор $C_в$ сам по себе уже может обеспечить существенное сглаживание пульсации выпрямленного напряжения. Если бы в схеме выпрямителя этого конденсатора (и вообще каких-либо других элементов, уменьшающих пульсацию) не было, то ток через нагрузку прекращался бы на все время, когда напряжение на аноде кенотрона имеет отрицательный знак, т. е. через каждые полпериода переменного напряжения в сети. В результате амплитуда переменной слагающей напряжения, даваемого однополупериодным выпрямителем, была бы в 1,57 раза больше постоянной слагающей. Другими словами, коэффициент пульсации выпрямленного напряжения достигал бы 157%.

Выбирая емкость электролитического конденсатора таким образом, чтобы коэффициент пульсации напряжения на нем не превышал максимально-допустимых 5%, и пропустив выпрямленный ток через относительно несложный фильтр, можно получить напряжение с пульсацией порядка десятых или сотых долей процента, допустимой для подачи на аноды приемно-усилительных ламп.

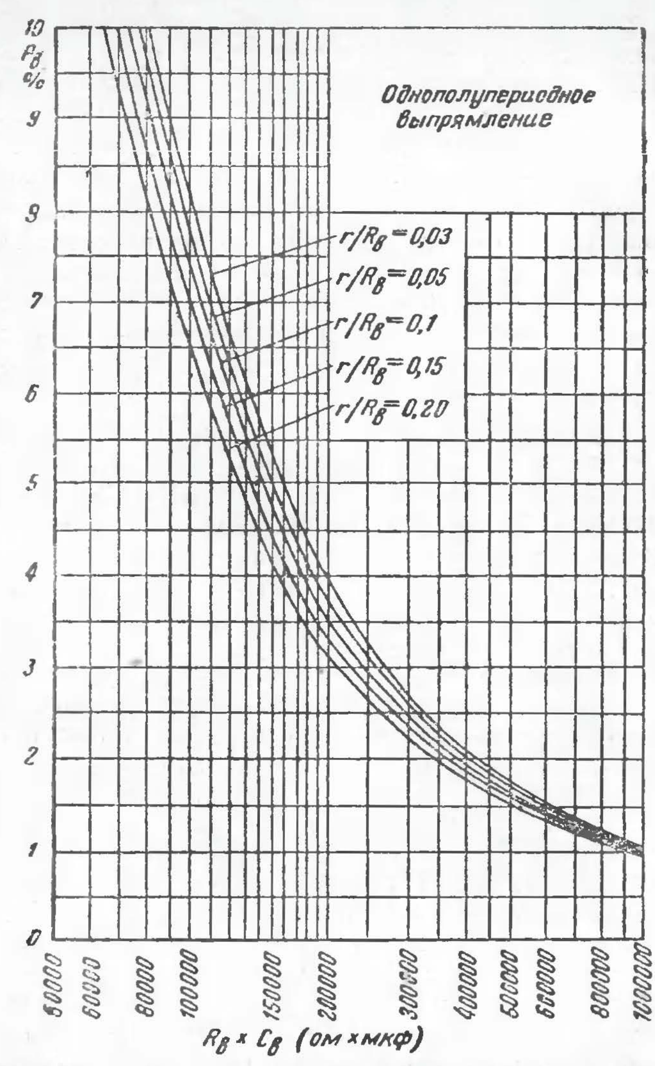
Таким образом, конденсатор $C_в$ в схеме выпрямителя должен рассматриваться как элемент, сглаживающий пульсацию выпрямленного напряжения, как элемент фильтра выпрямителя.

Для определения емкости $C_в$ по заданному коэффициенту пульсации p или, наоборот, для расчета коэффициента пульсации напряжения, даваемого выпрямителем при данной емкости $C_в$, нужно прежде всего вычислить величину эквивалентного сопротивления нагрузки $R_в$ по формуле

$$R_в = \frac{1\,000 \cdot U_в}{I_в} \quad (2)$$

Если величина $U_в$ неизвестна, то для предварительного расчета $R_в$ можно ориентировочно принять ее равной эффективному напряжению питающей сети.

Далее вычисляется отношение внутреннего сопротивления кенотрона $r = r_к$ к эквивалентному сопротивлению нагрузки, т. е. величина $r/R_в$. Величину $r_к$ можно взять



Фиг. 3. График для определения коэффициента пульсации на конденсаторе $C_в$ в однополупериодном выпрямителе.

из таблицы на второй странице обложки. Дальнейший расчет производится с помощью графика фиг. 3.

Чтобы определить $p_в$ — коэффициент пульсации напряжения на конденсаторе $C_в$, вычисляем величину $R_в \cdot C_в$,

находим ее на вертикальной оси графика фиг. 3, проводим вертикальную линию до пересечения с кривой, соответствующей найденной ранее величине $r/R_в$; из точки пересечения проводим горизонтальную линию до вертикальной оси графика и отсчитываем по ней коэффициент пульсации $p_в$. Если $p_в$ по расчету получился больше 5%, значит выбранный конденсатор непригоден и нужно применить конденсатор большей емкости и произвести расчет пульсации заново.

Когда требуется определить емкость $C_в$, обеспечивающую допустимый $p_в$, расчет производится следующим образом. Находим на вертикальной оси графика заданный $p_в$ и проводим линию, параллельную горизонтальной оси до пересечения с кривой, соответствующей найденной ранее величине $r/R_в$. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось графика и читаем на ней величину $R_в \cdot C_в$; последнюю делим на эквивалентное нагрузочное сопротивление $R_в$. Полученный ответ и дает нам необходимую емкость $C_в$ в *мкф*. Практически нужно применить конденсатор с типовой емкостью несколько большей, чем получающаяся по расчету.

После выбора емкости электролитического конденсатора следует определить, на какое рабочее напряжение он должен быть рассчитан. Необходимое рабочее напряжение электролитического конденсатора должно быть:

$$U_{раб} \geqslant U_в + U_m = U_в \cdot \left(\frac{100 + p_в}{100}\right), \qquad (3)$$

где величина $p_в$ выражается в процентах.

Практически для выпрямителей по схеме фиг. 1, работающих от сетей с напряжением 120—127 *в*, от которых нагрузка никогда не отключается, можно применять электролитические конденсаторы на $U_{раб} \geqslant 150$ *в*, а при напряжении сети в 220 *в* — на $U_{раб} = 250 \div 300$ *в*. В случае же, если возможна работа выпрямителя при отключенной нагрузке, напряжение на $C_в$ может достигать амплитудного значения напряжения сети. В этих случаях

$$U_{раб} = 1{,}41 \cdot U_{сети}. \qquad (3')$$

В таких выпрямителях при их питании от сети с напряжением 120—127 *в* практически можно применять элек-

тролитические конденсаторы с $U_{раб} \geqslant 200$ *в*; при питании же от сети 220 *в* рекомендуется применять конденсаторы с $U_{раб} = 350 \div 400$ *в*; использование в последнем случае конденсаторов с 300 *в* может быть допущено лишь при условии, что отключения нагрузки будут кратковременными.

Пример 1. При питании выпрямителя с кенотроном 30Ц1М по схеме фиг. 1 от сети с напряжением 220 *в* через нагрузку проходит ток $= 40$ *ма* и на конденсаторе $C_в = 30$ *мкф* при $U_{раб} = 300$ *в* получается $U_в = 278$ *в*. Требуется определить коэффициент пульсации и пригодность конденсатора для работы в данных условиях.

Сначала по формуле (2) находим:

$$R_в = \frac{1\,000 \cdot U_в}{I_в} = \frac{1\,000 \cdot 278}{40} = 6\,950 \text{ ом}.$$

Из таблицы на 2-й странице обложки берем для кенотрона 30Ц1М величину $r_к = r = 130$ *ом* и вычисляем отношение

$$\frac{r}{R_в} = \frac{130}{6\,950} \approx 0{,}02.$$

Вычисляем произведение

$$R_в \cdot C_в = 6\,950 \cdot 30 = 208\,500.$$

Пользуясь графиком фиг. 3 (используем кривую, обозначенную значением $r/R_в = 0{,}03$, ближайшим к вычисленной величине $r/R_в = 0{,}02$), находим, что $p_в \approx 4\%$. Следовательно, коэффициент пульсации на конденсаторе $C_в = 30$ *мкф* не превосходит допустимой величины.

Проверяем по формуле (3) пригодность этого конденсатора по рабочему напряжению

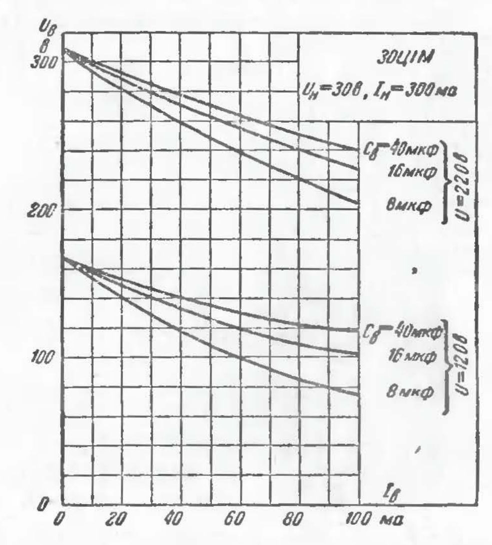
$$U_{раб} = 300 \geqslant 278 \cdot \left(\frac{100 + 4}{100}\right) = 289 \text{ в},$$

т. е. максимальное мгновенное напряжение на конденсаторе не превышает его номинального рабочего напряжения.

Нагрузочные характеристики выпрямителя. Нужно отметить, что с уменьшением емкости конденсатора $C_в$ будет также уменьшаться постоянная слагающая выпрямленного напряжения. Кроме того, она будет уменьшаться при увеличении тока, идущего от выпрямителя через его нагрузку, вследствие увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении. Во всяком случае, если на выпрямитель включена нагрузка, постоянная слагающая напряжения на $C_в$ и на нагрузке всегда будет меньше

амплитудного значения напряжения сети. На фиг. 4 приведены так называемые нагрузочные характеристики выпрямителя по схеме фиг. 1, работающего с кенотроном 30Ц1М при $C_в = 8, 16$ и 40 *мкф* от электросетей с напряжениями 120 и 220 *в*.

Из нагрузочных характеристик видно, что при расходе постоянного тока от выпрямителя по схеме фиг. 1 в пре-

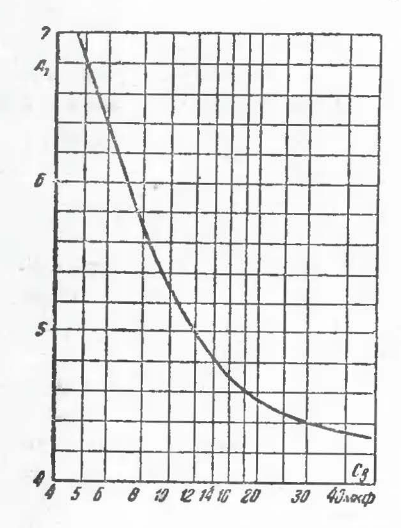


Фиг. 4. Нагрузочные характеристики однополупериодного выпрямителя с кенотроном 30Ц1М.

делах $50 \div 90$ *ма*, что соответствует примерно расходу тока на питание любительского громкоговорящего приемника или усилителя низкой частоты с выходной мощностью $1 \div 2$ *вт*, на $C_в$ получается $U_в$ либо несколько большее, либо несколько меньшее, чем эффективное напряжение электросети, а в отдельных частных случаях равно ему. Обращаем внимание читателя, что чем больше емкость $C_в$, тем больше получается $U_в$ при том же токе $I_в$ и тем медленнее уменьшается $U_в$ с увеличением $I_в$. Следовательно, для получения возможно большего тока $I_в$ при возможно большем $U_в$ в схеме фиг. 1 следует применять конденсатор $C_в$ возможно большей емкости.

Расчет напряжения, даваемого выпрямителем. В случае, если в выпрямителе по схеме фиг. 1 предполагается применить какой-либо другой кенотрон, то получающееся на $C_в$ напряжение $U_в$ может быть вычислено по формуле

$$U_в = 1{,}41\left(U - \frac{A_1 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000}\right), \qquad (4)$$



Фиг. 5. График для определения коэффициента A_1 при расчете однополупериодного выпрямителя.

где U — эффективное напряжение сети, *в*;

A_1 — опытный коэффициент, зависящий от емкости конденсатора $C_в$, определяемый по графику фиг. 5*.

Из графика фиг. 5 видно, что с увеличением $C_в$ коэффициент A_1 уменьшается. Следовательно, уменьшается и второй член в скобках формулы (4), характеризующий падение напряжения на внутреннем сопротивлении кенотрона $r_к$, а напряжение $U_в$ увеличивается. При емкостях $C_в$ порядка нескольких микрофарад A_1 и $U_в$ значительно изменяются при изменении $C_в$, а при емкостях порядка 30—50 *мкф* влияние изменения $C_в$ на $U_в$ сказывается в значительно меньшей мере.

Если требуется определить, какой выпрямленный ток можно получить от данной лампы при заданном $U_в$, то для вычисления следует применять формулу

$$I_в = \frac{1{,}41 \cdot U - U_в}{1{,}41 \cdot A_1 \cdot r_к} \cdot 1\,000, \qquad (5)$$

где приняты те же обозначения, что и в предыдущей формуле, и коэффициент A_1 берется тоже из графика фиг. 5.

* Коэффициент A_1 по графику фиг. 5 можно выбирать только для случаев питания от сети переменного тока с частотой 50 *гц*.

Если с помощью одного кенотрона не удается по расчету получить необходимый $I_в$ при заданном $U_в$, можно применить в схеме выпрямителя два одинаковых кенотрона, соединяя между собой параллельно их аноды и катоды. Нити накала кенотронов при этом нужно соединить последовательно. Для расчета такого выпрямителя с двумя кенотронами в формулы (4) и (5) вместо величины $r_к$ нужно подставить величину $r_к/2$, т. е. считать, что внутреннее сопротивление двух соединенных таким образом кенотронов вдвое меньше внутреннего сопротивления каждого из них. Вдвое меньшую величину $r_к$ следует принимать и при расчете коэффициента пульсации $p_в$ выпрямителя с двумя кенотронами. Следует отметить, что обе последние формулы дают удовлетворительный результат в тех случаях, когда величина $U_в$ больше эффективного напряжения питающей сети U или мало отличается от последнего. Для сильно нагруженного выпрямителя, когда постоянная слагающая выпрямленного напряжения значительно ниже эффективного напряжения в сети (когда отношение $r/R_в$ относительно велико), точность вычисления по этим формулам понижается.

Величина тока I_c, потребляемого выпрямителем по схеме фиг. 1 от сети, может быть вычислена по формуле

$$I_c = I_н + I_в \cdot B_1, \qquad (6)$$

где $I_н$ — ток накала кенотрона и

B_1 — коэффициент, определяемый по графику фиг. 6 по отношению $r/R_в$ и показывающий, во сколько раз эффективный ток, потребляемый анодной цепью кенотрона, больше выпрямленного тока $I_в$.

Так как в выпрямителе по схеме фиг. 1 обычно применяется кенотрон типа 30Ц1М с $I_н = 300$ *ма*, то последнюю формулу можно еще написать в таком виде:

$$I_c = 300 + I_в \cdot B_1. \qquad (6')$$

Плавкий предохранитель *Пр* (фиг. 1) должен быть рассчитан на примерно вдвое больший ток, чем ток I_c.

С большим запасом по току плавления предохранитель применять не следует, так как при какой-либо неисправности в выпрямителе (например, в случае пробивания

электролитического конденсатора) предохранитель может не перегореть, что приведет к длительному прохождению большого тока в анодной цепи кенотрона и к повреждению последнего. Если выпрямитель по схеме фиг. 1 необходимо использовать как для питания от 120—127-вольтовой, так и от 220-вольтовой электросети, расчет его ведется для напряжения сети 120 *в*. При питании такого выпрямителя от сети с напряжением 220 *в* последовательно с предохранителем включается сопротивление R_c, показанное на фиг. 1 пунктиром; на этом сопротивлении в данном случае теряется переменное напряжение 220—120 = 100 *в*. Перед включением выпрямителя в сеть с напряжением 220 *в* сопротивление R_c замыкается накоротко или выключается из схемы. Величина R_c в омах вычисляется по формуле

$$R_c = \frac{100\,000}{I_c},$$

где I_c — в *ма*.

Пример 2. Какое напряжение $U_в$ можно получить на конденсаторе $C_в$ схемы по фиг. 1 с кенотроном типа 30Ц1М при питании от сети с напряжением 220 *в* и какой в этом случае будет расходоваться ток от сети? При этом предполагается использовать для выпрямителя имеющийся в наличии электролитический конденсатор с емкостью в 30 *мкф*, при токах от выпрямителя в 40 и 80 *ма*.

Из таблицы на 2-й странице обложки находим, что для кенотрона 30Ц1М $r_к = 130$ *ом*. По графику фиг. 5 находим, что для $C_в = 30$ *мкф* коэффициент $A_1 = 4{,}4$. По формуле (4) решаем сначала задачу для $I_в = 40$ *ма*:

$$U_в = 1{,}41\left(U - \frac{A_1 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000}\right) = 1{,}41 \cdot \left(220 - \frac{4{,}4 \cdot 40 \cdot 130}{1\,000}\right) = 278 \text{ в}.$$

Достаточность емкости в 30 *мкф* при $U_в = 278$ *в* и $I_1 = 40$ *ма* была уже установлена в примере 1 (стр. 16).

В том же примере была найдена для данного кенотрона 30Ц1М и данных $U_в = 278$ *в* и $I_в = 40$ *ма* величина $r/R_в = 0{,}02$, которая нужна теперь для определения расхода тока от сети выпрямителем. По графику фиг. 6 находим, что при $r/R_в = 0{,}02$ коэффициент $B_1 = 2{,}65$. Подставляя известные величины в формулу (6′), находим ток I_c, расходуемый выпрямителем от сети при отдаче тока на нагрузку $I_в = 40$ *ма*:

$$I_c = 300 + 40 \cdot 2{,}65 = 406 \text{ ма} \approx 0{,}4 \text{ а}.$$

При токе $I_в = 80$ *ма* выпрямленное напряжение рассчитываем по формуле (4):

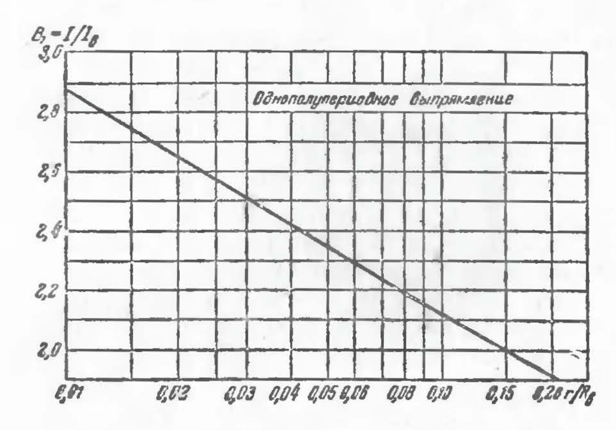
$$U_в = 1{,}41 \cdot \left(U - \frac{A_1 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000}\right) = 1{,}41 \cdot \left(220 - \frac{4{,}4 \cdot 80 \cdot 130}{1\,000}\right) = 245 \text{ в}.$$

Для этого случая

$$R_в = \frac{1\,000 \cdot 245}{80} = 3\,050 \text{ ом},$$

$$\frac{r_к}{R_в} = \frac{130}{3\,050} \approx 0{,}043 \quad \text{и} \quad R_в \cdot C_в = 3\,050 \cdot 30 = 91\,500.$$

По графику фиг. 3 находим, что при этих условиях коэффициент пульсации на $C_в$ составляет около 8,5%, т. е. недопустимо велик для электролитического конденсатора. Следовательно, емкость $C_в$ нужно увеличить. Предоставляем читателю самостоятельно убедиться путем расчетов по приведенным выше формулам и графикам, что, увеличивая емкость конденсатора $C_в$, можно снизить коэффициент пульсации до допустимой величины, а выпрямленное напряжение при этом несколько увеличить. Сравнивая результаты расчетов с нагрузочными характеристиками кенотрона 30Ц1М (фиг. 4), можно также убедиться, что для практических целей приведенные выше расчеты дают достаточно точные результаты.



Фиг. 6. График для определения коэффициента $B_1 = I_{II} / I_в$ или $I_c / I_в$ при расчете эффективного значения силы переменного тока, потребляемого от сети анодной цепью однополупериодного бестрансформаторного выпрямителя или текущего в цепи вторичной повышающей обмотки силового трансформатора однополупериодного выпрямителя с трансформатором.

Достоинства и недостатки выпрямителей по схеме фиг. 1. Ограничение постоянной слагающей выпрямленного напряжения величиной напряжения сети является существенным недостатком схемы выпрямителя по фиг. 1. Особенно этот

ДАННЫЕ КЕНОТРОНОВ

Тип (маркировка) кенотрона	Система кенотрона	Накал: Напряжение $U_н$, в	Накал: Ток $I_н$, а	Максимальное выпрямленное напряжение $U_в$, в	Максимальный выпрямленный ток $I_в$, ма	Максимальное эффективное напряжение на аноде U_c, U_{II}, в	Максимальная амплитуда обратного напряжения $U_{m\ обр}$, в	Максимальный допустимый импульс анодного тока $I_{макс}$, ма	Среднее эквивалентное внутреннее сопротивление $r_к$, ом	Габариты: Высота h, мм	Габариты: Максимальный диаметр d, мм	Примечание
ВО-230	Одноанодный, прямого накала	4	0,7	—	50	300	900	—	220	118	41	—
30Ц1М	Одноанодный, подогревный	30	0,3	225	90	250	500	500	130	85	33	При $C_в$ = 25 мкф
В-879, 2Х2	То же	2,5	1,75	—	7,5	4 500	12 500	100	4 500	110	40	При однополупериодном выпрямлении
5Ц4С	Двуханодный, подогревный	5,0	2,0	420	125	350×2	1 000	375	180	112	46	При $C_в$ = 8 мкф
5U4	Двуханодный, прямого накала	5,0	3,0	450	225	450×2	1 300	700	230	135	53	При $C_в$ = 4 мкф
5Z3	То же	5,0	2,0	330	125	350×2	1 000	375	500	85	33	При $C_в$ = 4 мкф
6Х5С	Двуханодный, подогревный	6,3	0,6	370	70	325×2	950	275	325	105	40	При $C_в$ = 4 мкф
ВО-188	Двуханодный прямого накала	4	2,1	500	150	500×2	1 400	560	180	145	52	При $C_в$ = 4 мкф
30Ц6С	Двуханодный, подогревный с разделенными катодами	30	0,3	225	90	250	500	250	300	115	42	При однополупериодном выпрямлении, при $C_в$ = 16 мкф
6Х6	То же	6,3	0,3	—	8	150	420	48	—	45	33	При однополупериодном выпрямлении
ВО-239	Одноанодный, прямого накала	4	2,1	—	180	850	2 400	—	—	150	52	При однополупериодном выпрямлении

недостаток сказывается при включении такого выпрямителя в 127-вольтовую сеть. В этом случае, как видно из нагрузочных кривых фиг. 4, с выпрямителя можно получить напряжение величиной примерно в пределах 90 ÷ 130 *в*, а после сглаживания его пульсаций фильтром (на котором, как будет видно ниже, теряется часть постоянной слагающей выпрямленного напряжения) на нагрузке получаются еще меньшие напряжения. Такие напряжения часто бывают совершенно недостаточными для питания ламп приемника или усилителя. Однако выпрямитель по схеме фиг. 1 вследствие своей простоты все же находит широкое применение в тех случаях, когда не требуются более высокие напряжения, при токах не более нескольких десятков миллиампер. При работе же его от сети с напряжением 220 *в*, когда от него можно получить постоянное напряжение около 200—250 *в*, он может иметь более широкое применение.

Существенным достоинством такого выпрямителя является возможность применения его в так называемых приемниках и усилителях с у н и в е р с а л ь н ы м п и т а н и е м, т. е. предназначенных для включения как в сети переменного тока, так и в сети постоянного тока. При включении на выпрямитель по схеме фиг. 1 напряжения от сети постоянного тока, когда выпрямляющее действие кенотрона не требуется, последний играет роль дополнительного сопротивления в общей цепи высокого напряжения приемно-усилительных ламп, улучшающего сглаживание пульсаций напряжения, поступающего из этой сети. Положительный полюс сети при этом должен быть включен обязательно на анод кенотрона, иначе не будет пропускать ток.

Недостатком выпрямителя по схеме фиг. 1 является значительная бесполезная потеря мощности на сопротивлении $R_н$, особенно при питании от сети с напряжением 220 *в*.

Кроме того, в устройствах, питаемых от сетей с помощью выпрямителя по схеме фиг. 1, нельзя непосредственно заземлить шасси. Соединять его с землей можно только через конденсатор емкостью не свыше 0,1 *мкф* *.

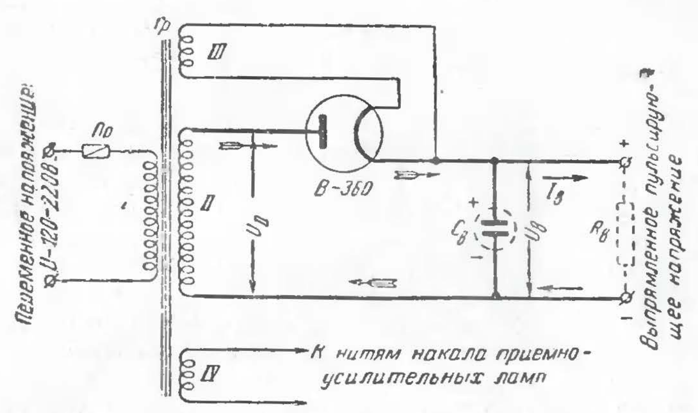
---

* Это замечание относится по тем же причинам в равной мере к описываемым ниже выпрямителям с автотрансформаторами и к выпрямителям с удвоением напряжения.

2. ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ С ТРАНСФОРМАТОРАМИ И АВТОТРАНСФОРМАТОРАМИ

Однополупериодный выпрямитель с трансформатором. При необходимости иметь выпрямленное напряжение большей величины, чем можно получить от схемы по фиг. 1, применяются выпрямители с трансформаторами. Специально для таких выпрямителей к приемникам выпускаются маломощные одноанодные кенотроны прямого накала типа В-360.

Схема однополупериодного выпрямителя с трансформатором приведена на фиг. 7. Вторичная обмотка *II* трансформатора *Тр*, соединенная с анодом кенотрона, должна иметь большее число витков, чем первичная обмотка, включаемая в сеть, приблизительно во столько раз, во сколько нужно увеличить постоянную слагающую выпрямленного напряжения.



Фиг. 7. Принципиальная схема однополупериодного кенотронного выпрямителя с трансформатором.

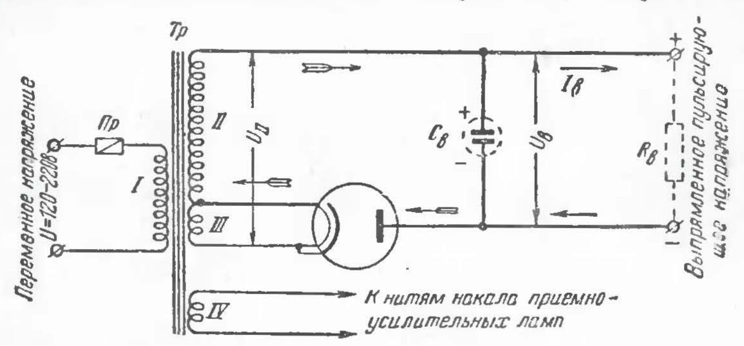
Кроме упомянутой обмотки *II*, трансформатор имеет еще две вторичных обмотки *III* и *IV*, с которых снимается напряжение на накал кенотрона и приемно-усилительных ламп. Нити накала последних в этом случае соединяются параллельно. Напряжение, даваемое обмоткой *III*, должно соответствовать нормальному напряжению накала кенотрона, а напряжение, даваемое обмоткой *IV* — напряжению накала приемно-усилительных ламп (обычно 6,3 *в*).

Схема выпрямителя, приведенная на фиг. 8, отличается от схемы фиг. 7 последовательным включением обмотки *II* трансформатора, кенотрона и конденсатора $C_в$.

Трансформатор, работающий в схеме выпрямителя, носит название **с и л о в о г о т р а н с ф о р м а т о р а**[1].

Схема с автотрансформатором. Вместо трансформатора, с целью увеличения напряжения, подаваемого на анод кенотрона, может быть применен автотрансформатор (фиг. 9).

Здесь переменное напряжение от сети включается на начало обмотки *а* и отвод *в*. Между точками *а* и *г* получается необходимое повышенное напряжение, которое и по-



Фиг. 8. Другой вариант схемы однополупериодного кенотронного выпрямителя с трансформатором.

дается в анодную цепь кенотрона. Для накала кенотрона напряжение берется с части обмотки, содержащейся между началом обмотки *а* и отводом *б*. В схеме фиг. 9 может быть применен как кенотрон прямого накала, так и подогревный[2].

Расчет коэффициента пульсации. Расчет выпрямителя с трансформатором или автотрансформатором нужно также начинать с определения емкости конденсатора $C_в$ и коэффициента пульсации выпрямленного напряжения на нем.

[1] Для осуществления питания выпрямителя от сетей с различными напряжениями (120—127—220 *в*) первичная обмотка силового трансформатора делается секционированной.

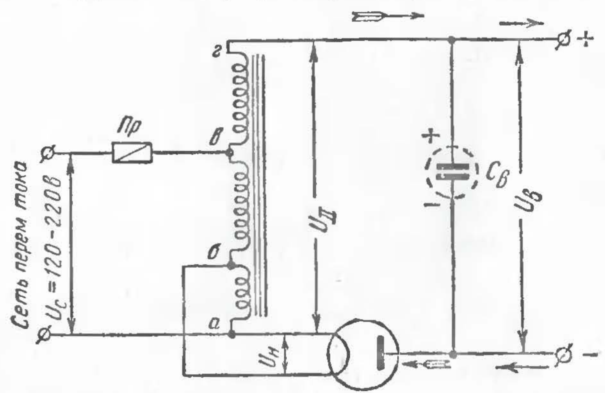
[2] Для осуществления питания такого выпрямителя от сетей с различными напряжениями (120—220 *в*) от обмотки автотрансформатора делают дополнительные отводы. Расчет автотрансформатора для работы от электросетей с различными напряжениям см. на стр. 96. Накал приемно-усилительных ламп может осуществляться от отдельной обмотки, изолированной от сетевой обмотки. В этом случае получится схема „автотрансформатор—трансформатор".

С помощью формулы (2) по заданным значениям $U_в$ и $I_в$ определяется $R_в$, а затем отношение $r/R_в$. За величину r в данном случае нужно принимать сумму эквивалентного внутреннего сопротивления кенотрона $r_к$ и активного сопротивления трансформатора r_T со стороны его вторичной обмотки *II*.

Практически r_T обычно составляет 1÷3% от величины $R_в$; поэтому можно считать, что

$$r = r_к + (0{,}01 \div 0{,}03)R_в. \quad (7)$$

При этом в формулу (7) следует подставлять бо́льший числовой коэффициент при расчете выпрямителя относитель-



Фиг. 9. Принципиальная схема однополупериодного кенотронного выпрямителя с автотрансформатором.

но малой мощности и наоборот. В случае применения автотрансформатора подставляется наименьший коэффициент.

Задаваясь коэффициентом пульсации $p_в$, по предварительно вычисленному отношению $r/R_в$ с помощью графика фиг. 3 определяется $R_в \cdot C_в$. Разделив полученную по графику величину $R_в \cdot C_в$ на вычисленную величину $R_в$, получаем минимально-необходимую емкость $C_в$. Так же, как и в случае расчета бестрансформаторного выпрямителя, расчетная емкость $C_в$ округляется до ближайшей бо́льшей типовой емкости.

Рабочее напряжение конденсаторов фильтра выпрямителя с подогревным кенотроном определяется по формуле (3).

Если возможно отключение нагрузки от выпрямителя, его величина определяется по формуле (3'). По формуле (3') определяется также минимальная величина $U_{раб}$, если в выпрямителе работает кенотрон прямого накала, так как его катод разогревается быстрее катодов подогревных приемных ламп и $U_в$ некоторый промежуток времени после включения равно амплитудному напряжению вторичной обмотки силового трансформатора.

Расчет напряжения и тока вторичной обмотки. Напряжение, которое должна давать вторичная обмотка *II* силового трансформатора *Тр* (фиг. 7 и 8) или вся обмотка автотрансформатора (фиг. 9) для получения заданной постоянной слагающей $U_в$, может быть определено по формулам:

$$U_{II} = \left(0{,}71 + A_1 \cdot \frac{r_к}{R_в}\right) \cdot U_в, \qquad (8)$$

или

$$U_{II} = 0{,}71 \cdot U_в + \frac{A_1 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000}, \qquad (8')$$

в которых значения $U_в$, $I_в$, $R_в$ и $r_к$ нам известны, а экспериментальный коэффициент A_1, зависящий от емкости $C_в$, находится по графику фиг. 5*.

Выполняя расчет, не следует забывать, что отбираемый выпрямленный ток $I_в$ не должен превышать указанного для данного кенотрона в таблице на 2-й странице обложки. Точно также недопустимо иметь напряжение U_{II} или, соответственно, $U_{m\,обр} = 2{,}82 \cdot U_{II}$ больше, чем это предусмотрено для применяемого кенотрона. При невыполнении этих условий кенотрон в работе будет перегреваться, а также может произойти пробой между его анодом и катодом, что приведет к выходу кенотрона из строя.

Из формул (8) и (8') следует, что в случае ненагруженного выпрямителя, т. е. когда $I_в = 0$ или, соответственно, $R_в = \infty$, произведения $A_1 \cdot r_к / R_в$ и $A_1 \cdot I_в \cdot r_к$ делаются равными нулю и

$$U_{в\,макс} = 1{,}41 \cdot U_{II}.$$

* Если в формулу (8) или (8') подставить вместо величины $r_к$ сопротивление r, вычисленное по формуле (7), то получим напряжение холостого хода (э. д. с.) вторичной обмотки трансформатора.

Эффективное значение тока во вторичной обмотке трансформатора I_{II} вычисляется по формуле:

$$I_{II} = I_в \cdot B_1. \qquad (9)$$

Коэффициент B_1 определяется с помощью графика фиг. 6 по отношению $r/R_в$. Величина r предварительно вычисляется по формуле (7). В данном случае коэффициент B_1 показывает, во сколько раз эффективный ток повышающей обмотки трансформатора больше тока $I_в$.

Зависимость между током $I_в$ и напряжением $U_в$ для данного напряжения вторичной обмотки U_{II} и при данной емкости $C_в$ также может быть изображена графически с помощью нагрузочной характеристики, подобной изображенным на фиг. 4. Чем больше емкость $C_в$, тем медленнее будет происходить уменьшение $U_в$ с ростом тока $I_в$.

С другой стороны, чем больше будет $r_к$ и чем больше будет сопротивление обмоток трансформатора, тем более круто вниз будет итти нагрузочная характеристика. Объясняется это очень просто: при большем внутреннем сопротивлении кенотрона и сопротивлении обмоток при том же токе получается большее падение напряжения на них и меньшее напряжение получается на нагрузочном сопротивлении[1].

Области применения однополупериодных выпрямителей. Однополупериодные выпрямители с трансформаторами или автотрансформаторами целесообразно применять в тех случаях, когда требуется выпрямленное напряжение величиной до 200 ÷ 300 *в* при $I_в = 30 \div 50$ *ма*, а также и при более высоких напряжениях, при условии, если нужно иметь ток еще меньшей силы. Так, например, схема по фиг. 8 имеет широкое применение в высоковольтных выпрямителях для питания анодов электроннолучевых трубок телевизионных приемников. С такой схемой, применяя в ней кенотрон типа 2Х2 (879), можно получить выпрямленное напряжение до 4 500 *в* при токе в несколько миллиампер. В последнем случае в ней применяются конденсаторы с диэлектриком из

[1] Падение напряжения на обмотках трансформатора учитывается при расчете последнего (стр. 8-).

пропитанной бумаги, так как электролитические конденсаторы на рабочие напряжения порядка нескольких тысяч вольт не изготовляются.

Во всех же других случаях, при наличии трансформатора в схеме кенотронного выпрямителя он почти всегда выполняется по более совершенной — двухполупериодной схеме.

Пример 3. Необходимо построить высоковольтный выпрямитель для питания электроннолучевой трубки телевизора, дающий ток 2 *ма* при напряжении в 3 000 *в*. Считая, что на сглаживающем фильтре выпрямителя потеряется напряжение 500 *в*, принимаем $U_в = 3\,500$ *в*. В распоряжении конструктора имеются высоковольтные конденсаторы по 0,25 *мкф*.

Определить, какое нужно иметь U_{II}, какой будет эффективный ток I_{II} и какая пульсация напряжения будет на конденсаторе $C_в$.

По формуле (2) определяем эквивалентное сопротивление нагрузки:

$$R_в = \frac{1\,000 \cdot U_в}{I_в} = \frac{1\,000 \cdot 3\,500}{2} = 1{,}75 \text{ мгом.}$$

По таблице, помещенной на 2-й странице обложки, выбираем кенотрон 879. Его $r_к = 4\,500$ *ом*.

По формуле (7) определяем:

$$r = 4\,500 + 0{,}01 \cdot 1\,750\,000 = 22\,000 \text{ ом,}$$

тогда

$$\frac{r}{R_в} = \frac{22\,000}{1\,750\,000} = 0{,}012.$$

Принимая $C_в = 0{,}25$ *мкф*, имеем:

$$R_в \cdot C_в = 1\,750\,000 \cdot 0{,}25 = 438\,000.$$

По графику фиг. 3 для этих значений $r/R_в$ и $R_в \cdot C_в$ находим, что $p_в \approx 2\%$.

Для $C_в = 0{,}25$ *мкф* на графике фиг. 5 данные коэффициента A_1 отсутствуют. Из опыта постройки подобных выпрямителей для них $A_1 \approx 30$.

Напряжение на вторичной высоковольтной обмотке трансформатора определяем по формуле (8'):

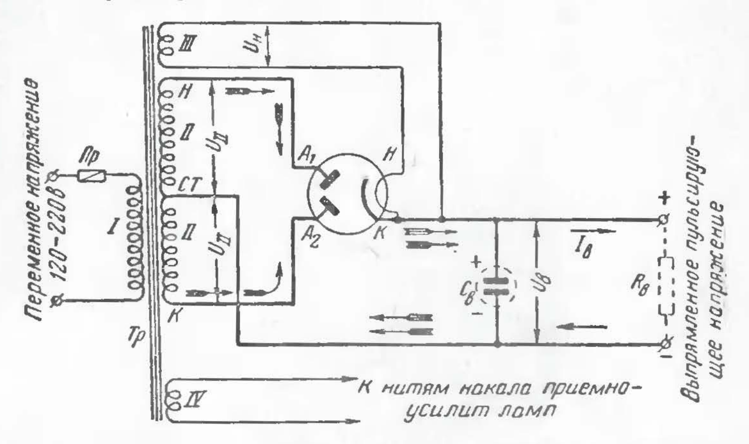
$$U_{II} = 0{,}71 U_в + \frac{A_1 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000} = 0{,}71 \cdot 3\,500 + \frac{30 \cdot 2 \cdot 4\,500}{1\,000} = 2\,750 \text{ в.}$$

По графику фиг. 6 находим коэффициент B_1 для $r/R_в = 0{,}012$, а с его помощью по формуле (9) определяем, что

$$I_{II} = I_в \cdot 2{,}87 = 5{,}75 \text{ ма.}$$

3. ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Схема выпрямителя. Основным преимуществом схемы двухполупериодного выпрямителя по сравнению с однополупериодной схемой являются: 1) возможность получить с конденсатором той же емкости выпрямленное напряжение с меньшим коэффициентом пульсации и поэтому допустимость применения к ней более простого сглаживающего фильтра и 2) возможность получить при трансформаторе того же размера больший выпрямленный ток.

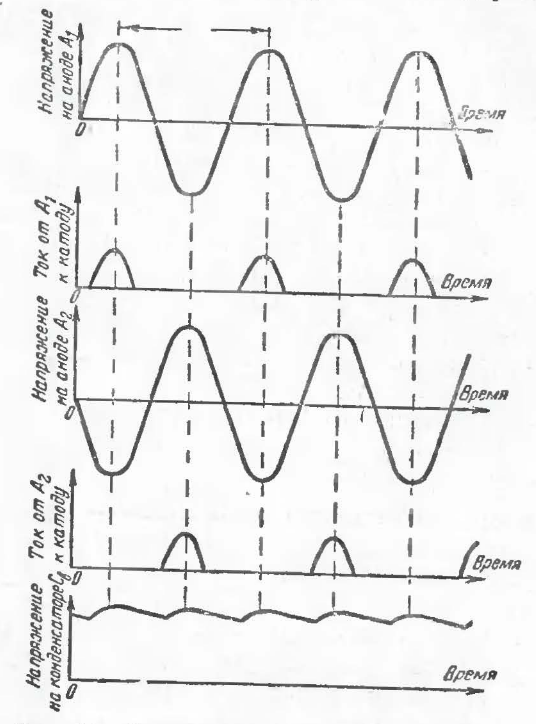


Фиг. 10. Принципиальная схема двухполупериодного кенотронного выпрямителя.

Принципиальная схема двухполупериодного выпрямителя показана на фиг. 10. Для нее необходим кенотрон с двумя анодами, либо два одноанодных кенотрона. Для питания радиоприемников чаще всего в ней применяется кенотрон типа 5Ц4С, в котором катоды соединены между собой и с одним концом нити накала внутри баллона, либо кенотроны прямого накала типов 5Y4, 5U4 и ВО-188.

Накал кенотрона в схеме фиг. 10 так же, как и в схеме фиг. 7, питается от специальной обмотки *III* силового трансформатора *Тр*. Вторичная обмотка *II* силового трансформатора двухполупериодного выпрямителя должна давать примерно вдвое большее напряжение, чем соответствующая обмотка однополупериодного выпрямителя, и иметь вывод от среднего витка. Это усложнение конструкции трансформатора вполне окупается упомянутыми выше преимущест-

вами двухполупериодного выпрямителя. Начало H и конец K этой обмотки соединяются с анодами кенотрона, а ее средняя точка, на которой получается минус выпрямленного напряжения, — с отрицательным полюсом конденсатора $C_в$. Плюс выпрямленного напряжения в двухполупериод-



Фиг. 11. Диаграммы напряжений и токов в различных цепях двухполупериодного кенотронного выпрямителя.

ной схеме получается на катоде кенотрона, соединенном с положительным полюсом конденсатора $C_в$.

Действие двухполупериодного выпрямителя. Схему двухполупериодного выпрямителя (фиг. 10) можно рассматривать как составленную из двух одинаковых схем по фиг. 7, но с общим конденсатором $C_в$, причем на каждый анод кенотрона поступает напряжение с одной половины вторичной обмотки II трансформатора Tp. Во время полупериодов переменного тока, когда получается плюс на начале H об-

мотки II и на аноде A_1 кенотрона, импульсы тока проходят между этим анодом и катодом K, заряжая конденсатор $C_в$. Во время полупериодов другого знака, когда плюс получится на конце K обмотки II и на аноде A_2, импульсы тока проходят между этим анодом и катодом, сообщая конденсатору $C_в$ заряды того же знака. Следовательно, половинки кенотрона в двухполупериодной схеме проводят ток поочередно, пополняя заряд конденсатора $C_в$ дважды в течение каждого периода T переменного напряжения на трансформаторе. Между двумя следующими друг за другом импульсами тока через кенотрон конденсатор успевает разрядиться через нагрузку меньше, чем в случае однополупериодной схемы, и поэтому переменная слагающая выпрямленного напряжения и соответственно коэффициент пульсации также получаются меньше (при условии равенства в обоих случаях сопротивлений нагрузок). Кроме того, как это видно из диаграммы работы двухполупериодного выпрямителя (фиг. 11) основная частота пульсации даваемого им напряжения получается в два раза большей, чем при однополупериодном выпрямлении. Последние два обстоятельства вместе взятые, как мы увидим ниже, упрощают устройство сглаживающего фильтра.

Вычисление коэффициента пульсации. Расчет двухполупериодного выпрямителя, как обычно, нужно начинать с определения необходимой емкости $C_в$ по наибольшему допустимому для электролитического конденсатора коэффициенту пульсации. В данном случае нужно пользоваться графиком фиг. 12. Необходимая для расчетов величина $R_в$ вычисляется, как обычно, по формуле (2).

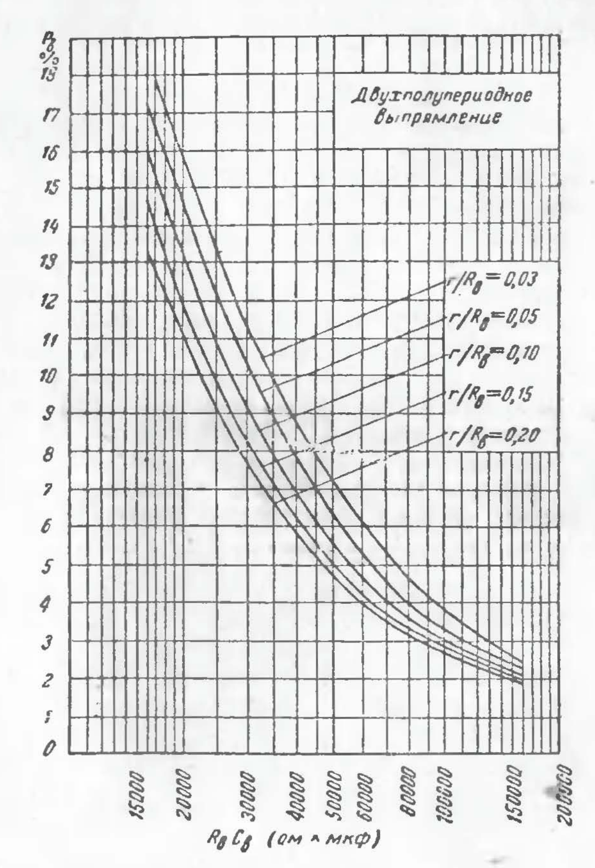
Общее эквивалентное сопротивление для случая двухполупериодного выпрямителя вычисляется по формуле

$$r = r_к + (0{,}03 \div 0{,}06) \cdot R_в. \tag{10}$$

Величина эквивалентного внутреннего сопротивления кенотрона берется из таблицы на 2-й странице обложки. Дальнейший порядок вычисления величины $r/R_в$ и определения коэффициента пульсации по графику фиг. 13 такой же, как и при пользовании графиком фиг. 3.

Отметим, что при отсутствии конденсатора $C_в$ в схеме двухполупериодного выпрямителя коэффициент пульсации

напряжения, получающегося между катодом кенотрона и средней точкой вторичной обмотки силового трансформатора, достигает 67% (за счет увеличения амплитуды



Фиг. 12. График для определения коэффициента пульсации при двухполупериодном выпрямлении.

переменной слагающей и уменьшения постоянной слагающей).

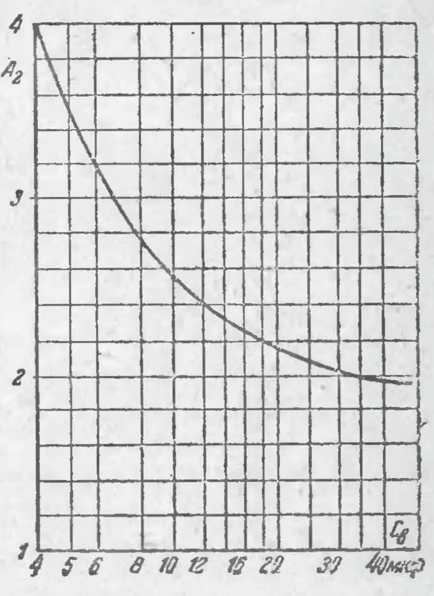
Расчет напряжения и тока вторичной обмотки. Напряжение U_{II}, которое должна давать каждая половина вторичной обмотки *II* силового трансформатора (фиг. 10) для обеспечения заданных постоянных слагающих выпрямленного напряжения $U_в$ и выпрямленного тока $I_в$, может быть вычислено по формулам

$$U_{II} = \left(0{,}71 + A_2 \cdot \frac{r_к}{R_в}\right) \cdot U_в, \qquad (11)$$

или

$$U_{II} = 0{,}71\, U_в + \frac{A_2 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000}. \qquad (11')$$

Обозначения, использованные в формулах (11) и (11′), нам уже известны, за исключением величины A_2. Последняя представляет собой опытный коэффициент, определяемый с помощью графика фиг. 13 по величине емкости $C_в$. Очевидно, что напряжение на концах вторичной обмотки будет вдвое больше полученного по формулам (11) или (11′), т. е. равно 2 U_{II}. Выбираемые величины $U_в$ и $I_в$ и полученная в результате расчета величина U_{II} не должны превышать величин, указанных в таблице на 2-й странице обложки.

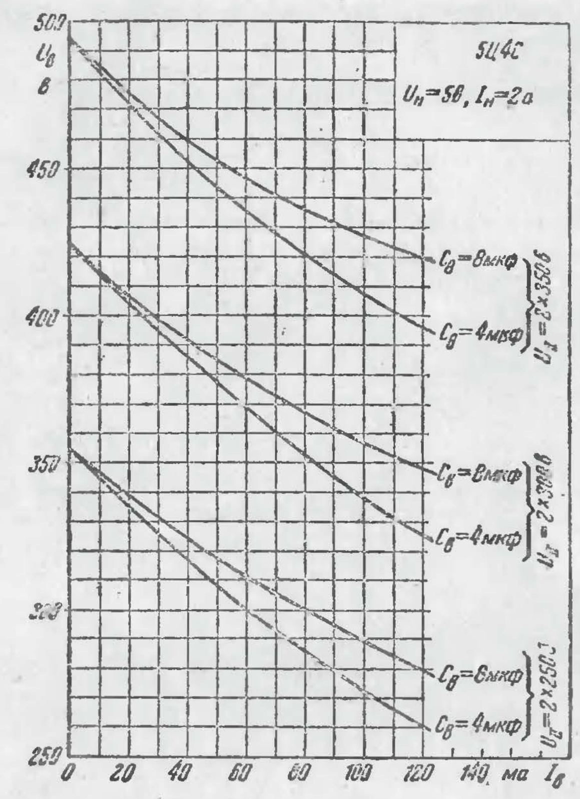


Фиг. 13. График для определения коэффициента A_2, необходимого для расчета напряжения вторичной обмотки силового трансформатора при двухполупериодном выпрямлении.

Отметим, что амплитуда обратного напряжения, действующего на кенотроне, при двухполупериодной схеме получается такая же, как и в случае однополупериодного выпрямителя, т. е. $U_{m\,обр} = 2{,}82 \cdot U_{II}$.

На фиг. 14 приведены нагрузочные характеристики двухполупериодных выпрямителей с наиболее распространенным в радиолюбительской практике двуханодным кенотроном 5Ц4С. С помощью этих характеристик можно без математических расчетов выбрать подходящий режим работы кенотрона.

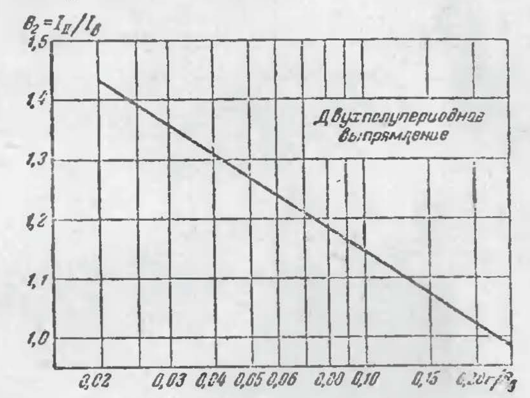
Из этих нагрузочных характеристик видно, что с увеличением $I_в$ уменьшается $U_в$, вследствие увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении кенотрона; при этом, когда в выпрямителе применен конденсатор $C_в$



Фиг. 14. Нагрузочные характеристики двухполупериодного выпрямителя с кенотроном 5Ц4С.

с бо́льшей емкостью, уменьшение вследствие роста тока происходит медленнее.

Каждая из приведенных нагрузочных характеристик построена в условиях, когда U_{II} искусственно поддерживалось постоянным при изменении $I_в$. В действительных условиях при увеличении $I_в$ увеличивается падение напряжения не только на внутреннем сопротивлении кенотрона, но и на обмотках трансформатора; вследствие этого увеличение $I_в$ ведет к уменьшению эффективного напряжения на повышающей обмотке трансформатора. Поэтому нагрузочная характеристика реального выпрямителя с трансформатором будет показывать более резкое уменьшение $U_в$ при увеличении тока $I_в$.



Фиг. 15. График для определения коэффициента $B_2=I_{II}/I_в$ при расчете эффективного значения тока во вторичной обмотке силового трансформатора в двухполупериодном выпрямителе.

Эффективное значение тока в каждой половине вторичной обмотки *II* трансформатора двухполупериодного выпрямителя вычисляется по формуле

$$I_{II}=I_в\cdot B_2, \tag{12}$$

где B_2—коэффициент, определяемый по отношению $r/R_в$ с помощью графика фиг. 15. Этот коэффициент является отношением эффективного значения тока в каждой п о л о в и н е вторичной обмотки трансформатора к постоянной слагающей тока, отбираемого от выпрямителя.

Накал приемно-усилительных ламп при использовании двухполупериодной схемы осуществляется от отдельной обмотки *IV* того же трансформатора.

Пример 4. Необходимо сконструировать двухполупериодный выпрямитель, дающий напряжение 250 *в* при $I_в=60$ *ма*. Имеется кено-

трон 5Ц4С, электролитические конденсаторы по 8 *мкф* на 400 *в* и дроссель типа ФД-1 с сопротивлением обмотки, равным 1 000 *ом*. Определить напряжение U_{II} и ток во вторичной обмотке.

Так как $R_ф = 1\,000$ *ом* и через него будет протекать $I_в = 60$ *ма*, на нем будет падать напряжение 60 *ма* × 1 000 *ом* = 60 *в*. Значит, на конденсаторе $C_в$, соединенном непосредственно с катодом кенотрона, нам нужно иметь напряжение $U_в = 250 + 60 = 310$ *в*.

По формуле (2) находим, что

$$R_в = \frac{1\,000 \cdot 310}{60} = 5\,150 \text{ ом}.$$

Из таблицы на 2-й странице обложки берем $r_к = 180$ *ом* и находим по формуле (10), что

$$r = r_к + 0{,}05 \cdot R_в = 180 + 0{,}05 \cdot 5\,150 \approx 440 \text{ ом}.$$

Следовательно,

$$\frac{r}{R_в} = \frac{440}{5\,150} = 0{,}085.$$

Пользуясь кривой фиг. 12, обозначенной ближайшей величиной $r/R_в = 0{,}1$, наиболее близкой к полученной нами расчетом величине, $r/R_в = 0{,}085$, находим, что при $p_в = 7\%$, допустимом для конденсатора емкостью в 8 *мкф*, необходимо иметь $R_в \cdot C_в = 40\,000$. При данном $R_в = 5\,150$ *ом* нужен конденсатор с емкостью $C_в = \frac{40\,000}{5\,150} = 7{,}8$ *мкф*. Таким образом, между катодами кенотрона и средней точкой вторичной обмотки трансформатора (фиг. 10) достаточно включить один конденсатор емкостью в 8 *мкф**.

По графику фиг. 13 находим, что при $C_в = 8$ *мкф* $A_2 = 2{,}79$ и по формуле (11′) находим, что:

$$U_{II} = 0{,}71 \cdot U_в + \frac{A_2 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000} = 0{,}71 \cdot 310 + \frac{2{,}79 \cdot 60 \cdot 180}{1\,000} = 250 \text{ в}.$$

Соответственно на концах вторичной обмотки трансформатора должно быть напряжение $2 \times 250 = 500$ *в*. Имеющиеся у нас конденсаторы с $U_{раб} = 400$ *в* вполне пригодны для работы в рассчитанном выпрямителе даже при отключении нагрузки, так как при этом напряжение на конденсаторе достигнет величины $1{,}41 \cdot U_{II} = 1{,}41 \times 250 = 355$ *в*, т. е. будет меньше рабочего напряжения конденсатора.

По графику фиг. 15 определяем, что для $r/R_в = 0{,}085$ коэффициент $B_2 \approx 1{,}2$. Следовательно, эффективный ток во вторичной обмотке будет

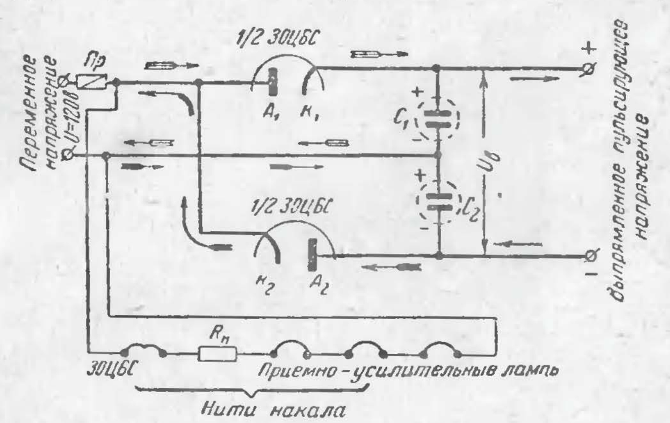
$$I_{II} = 60 \cdot 1{,}2 = 72 \text{ ма}.$$

* При однополупериодном выпрямлении для получения такой же пульсации при всех прочих равных условиях пришлось бы применить конденсатор с емкостью, в несколько раз большей.

Увеличение мощности выпрямителя. Если с помощью одного кенотрона не удается по расчету получить необходимую величину тока, то для увеличения последней можно соединять два кенотрона параллельно. При этом в формулы (10), (11) и (11′) вместо величины $r_к$ нужно подставлять величину $r_к/2$, так как общее эквивалентное внутреннее сопротивление двух параллельно включенных кенотронов вдвое меньше внутреннего сопротивления каждого из них.

4. СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С УДВОЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

Выпрямленное напряжение со средней величиной примерно в два раза больше, чем эффективное напряжение питающей сети, может быть получено и с помощью бестранс-

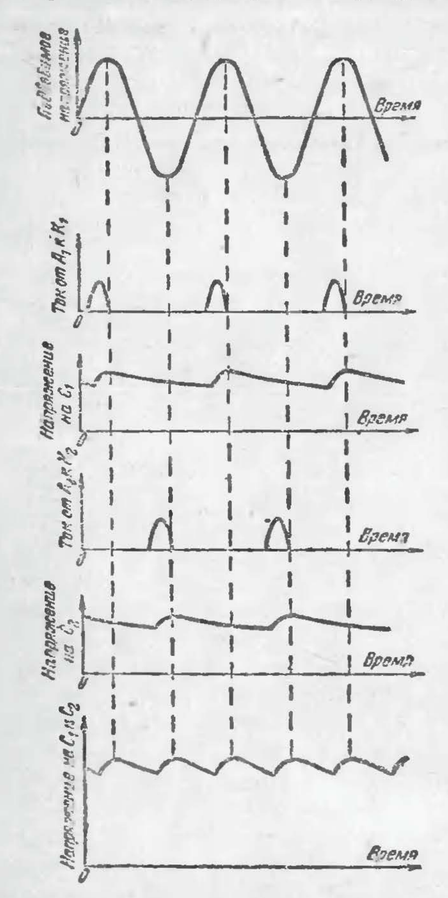


Фиг. 16. Принципиальная схема двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения.

форматорных кенотронных выпрямителей, выполненных по так называемым схемам удвоения напряжения. Используются эти схемы преимущественно для питания приемников или усилителей от сетей с напряжением 120—127 *в*. В них обычно применяются двуханодные кенотроны 30Ц6С, имеющие по два катода, электрически изолированных друг от друга и от нити накала.

Двухполупериодная схема удвоения. Двухполупериодную схему удвоения выпрямленного напряжения можно рассматривать как состоящую из двух однополупериодных выпрямителей (фиг. 16), каждый из которых выполнен по схе-

ме, подобной фиг. 1. В одном из этих однополупериодных выпрямителей используется половина кенотрона 30Ц6С, содержащая анод A_1 и катод K_1 с конденсатором C_1, а в другом—вторая половина кенотрона, содержащая анод A_2 и катод K_2 с конденсатором C_2. Конденсаторы C_1 и C_2 применяются одинаковой емкости. Благодаря тому, что катод K_2 соединен с анодом A_1, обе половины кенотрона пропускают через себя ток поочередно. Во время одного полупериода переменного напряжения, когда получается плюс на том проводе, который соединен с анодом A_1 и катодом K_2, ток может проходить только между анодом A_1 и катодом K_1, т. е. в направлении, указанном стрелками со светлым оперением. Этот ток заряжает конденсатор C_1. Через вторую половину кенотрона ток пройти не может, так как плюс поступает на его катод. Во время другого полупериода на анод A_1 поступает минус и верхняя половина кенотрона не работает. В это же время через C_2 поступает плюс на A_2 и минус на K_2, в результате чего в схеме проходит ток, как обозначено стрелками с темным оперением. Этот ток заряжает C_2. Но конденсаторы C_1 и C_2 соединены последовательно: отрицательно заряженная обкладка C_1 соединена с обкладкой C_2, имеющей положительный заряд. Вследствие этого, если включить нагрузку между плюсом конденсатора



Фиг. 17. Диаграмма работы двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения.

C_1 и минусом конденсатора C_2, на нагрузке получится примерно вдвое большее напряжение, чем при однополупериодном выпрямлении с использованием схемы фиг. 1. Путь и направление тока, идущего на нагрузку, показаны на фиг. 16 стрелками без оперения. В нижней части этой фигуры показана общая цепь накала кенотрона и приемно-усилительных ламп, питаемых от такого выпрямителя.

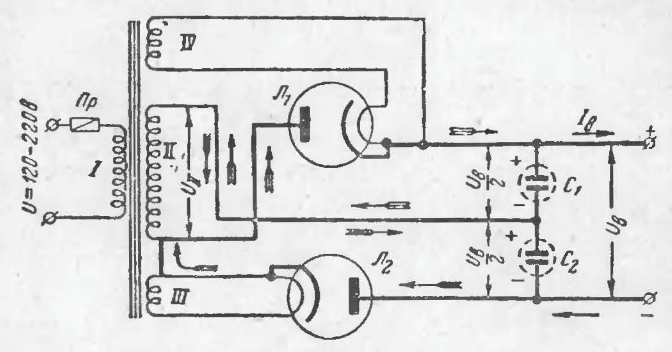
Диаграмма работы схемы удваивающего выпрямителя показана на фиг. 17. Из нее видно, что напряжение, отдаваемое выпрямителем, имеет частоту пульсации, вдвое бо́льшую, чем частота питающего напряжения, т. е. такую же, как и в случае двухполупериодного выпрямителя.

При монтаже выпрямителя по схеме фиг. 16 корпус электролитического конденсатора C_1 должен быть надежно изолирован от шасси, так как он находится под половинным выпрямленным напряжением по отношению к шасси; корпус конденсатора C_2 может иметь непосредственное соединение с шасси.

Двухполупериодная схема удвоения с трансформатором. Схема удвоения выпрямленного напряжения может применяться и в комбинации с силовым трансформатором. Это делается в тех случаях, когда по конструктивным соображениям трудно выполнить вторичную обмотку трансформатора на достаточно большое напряжение или когда нужно получить с помощью имеющегося уже трансформатора большее напряжение, чем он может дать в обычных схемах однополупериодного или двухполупериодного выпрямления. В частности, такая схема иногда применяется для получения высоких напряжений для питания электроннолучевых трубок телевизионных приемников. В ней обычно используются два одинаковых одноанодных кенотрона (фиг. 18). Накал одного из них питается от обмотки *III*, соединенной с одним из концов обмотки *II*, а накал другого кенотрона питается от обмотки *IV*. Последняя должна быть надежно изолирована от обмоток *II* и *III*, так как находится по отношению к ним под высоким напряжением. Работает схема фиг. 18 так же, как и схема фиг. 16.

Коэффициент пульсации. Выбор емкости каждого из конденсаторов C_1 и C_2 нужно производить из расчета допустимой пульсации на них, как для однополупериодного выпрямителя, т. е. с помощью графика фиг. 3, но принимая величину $R_в$ равной половине эквивалентного сопро-

тивления нагрузки выпрямителя, определяемого по отношению $U_в:I_в$. При расчете схемы без трансформатора величину r следует принимать равной внутреннему эквивалентному сопротивлению кенотрона $r_к$, а при расчете схемы с силовым трансформатором нужно предварительно вычислить r, как сумму внутреннего сопротивления кенотрона и вторичной обмотки трансформатора по формуле



Фиг. 18. Схема двухполупериодного кенотронного выпрямителя с трансформатором и с удвоением напряжения.

(7). Полученная по расчету емкость, как обычно, округляется.

После того как определены необходимые емкости C_1 и C_2, вычисляют фактический коэффициент пульсации напряжения, даваемого выпрямителем, как при двухполупериодном выпрямлении, т. е. с помощью графика фиг. 12. Так как конденсаторы C_1 и C_2 по отношению к нагрузке соединены последовательно, емкость $C_в$ принимают равной половине фактической емкости каждого из этих конденсаторов, т. е. $C_в = C_1:2 = C_2:2$, и принимают при расчете полную величину эквивалентного сопротивления нагрузки.

Расчет напряжений в схеме удвоения. Постоянная слагающая выпрямленного напряжения, даваемого схемой фиг. 16 или 18, может быть вычислена по формуле

$$U_в = 2{,}82\left(U - \frac{A_1 I_в \cdot r_к}{1\,000}\right), \qquad (13)$$

где U — эффективное напряжение сети (для схемы фиг. 16) или вторичной обмотки силового трансформатора (для схемы фиг. 18.)

и A_1 — коэффициент, определяемый по графику фиг. 5 в зависимости от емкости каждого из конденсаторов, т. е. для $C_в = C_1 = C_2$.

Из этой формулы следует, что при $I_в = 0$, т. е. при работе выпрямителя без нагрузки, получается выпрямленное напряжение $U_{в.макс} = 2{,}82U$. При включении нагрузки, когда появляется ток $I_в$, напряжение $U_в$ уменьшается тем значительнее, чем больше ток $I_в$.

Нетрудно подсчитать, что при питании схемы фиг. 16 от сети переменного тока с напряжением $U = 127$ *в* можно получить при отсутствии нагрузки $U_{в.макс} = 2{,}82 \cdot 127 = 356$ *в*, а при питании от сети с $U = 220$ *в* выпрямленное напряжение достигает величины $U_{в.макс} = 2{,}82 \cdot 220 = 620$ *в*.

Для определения необходимого напряжения на вторичной обмотке трансформатора по заданному выпрямленному напряжению $U_в$ применяются формулы

$$U_{II} = 0{,}36 \cdot U_в + \frac{A_1 \cdot I_в \cdot r_к}{1\,000}, \qquad (14)$$

или

$$U_{II} = \left(0{,}36 + A_1 \cdot \frac{r_к}{R_в}\right) \cdot U_в, \qquad (14')$$

где приняты те же обозначения, что и в формуле (13).

Рабочее напряжение каждого из конденсаторов C_1 и C_2, применяемых в схемах с удвоением, должно быть по крайней мере в 1,41 раза больше эффективного напряжения сети (в схеме фиг. 16) или вторичной обмотки трансформатора (фиг. 18). Амплитуда обратного напряжения, действующая в этих схемах между анодом и катодом каждого из кенотронов, имеет ту же величину, что в обычных схемах однополупериодного или двухполупериодного выпрямителя, т. е. равна $2{,}82 \cdot U$.

Эффективное значение тока $I_с$, потребляемого из сети бестрансформаторной схемой удвоения по фиг. 16, может быть определено по известному току накала кенотрона (и приемно-усилительных ламп) $I_н$ и требуемому значению тока $I_в$ с помощью формулы

$$I_с = I_н + 1{,}41 \cdot B_1 \cdot I_в. \qquad (15)$$

В случае применения в выпрямителе кенотрона 30Ц6С эта формула принимает вид

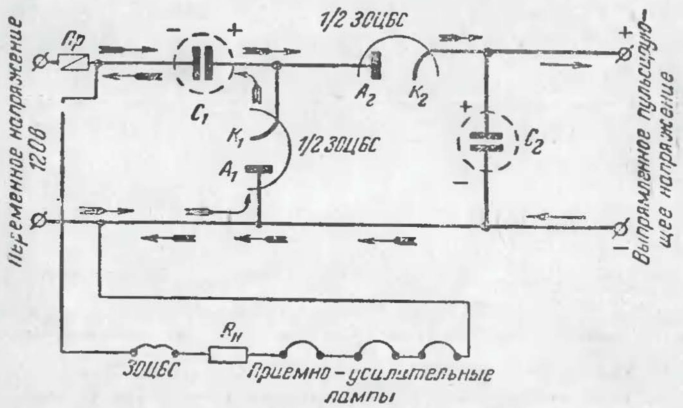
$$I_c = 300 + 1{,}41 \cdot B_1 \cdot I_в. \qquad (15')$$

В последних формулах токи выражены в *ма*; коэффициент B_1 берется из графика фиг. 6.

Эффективный ток вторичной обмотки в схеме с трансформатором (или с автотрансформатором)

$$I_{II} = 1{,}41 \cdot B_1 \cdot I_в. \qquad (16)$$

Однополупериодная схема удвоения напряжения. Большее распространение в современных приемниках имеют бестрансформаторные выпрямители по однополупериодной схеме с удвоением (фиг. 19). В последней схеме электроды двуханодного кенотрона и два конденсатора C_1 и C_2 соединены между собой иначе, чем в двухполупериодной схеме с удвоением.



Фиг. 19. Принципиальная схема однополупериодного кенотронного выпрямителя с удвоением напряжения.

Во время одного полупериода, когда получается плюс на нижнем зажиме питающей электросети и соответственно минус на верхнем зажиме, поступает положительное напряжение на анод A_1 кенотрона и между ним и катодом K_1 проходит ток, путь и направление которого показаны на схеме стрелками со светлым оперением. Этот ток заряжает конденсатор C_1. Заметим, что положительно заряженная обкладка конденсатора C_1 соединена с анодом A_2 кенотрона. Поэтому, когда данный полупериод закончится, конденсатор C_1 начнет через половину кенотрона, содержащую анод A_2 и катод K_2, передавать запасенную им энергию конденсатору C_2. Но с началом следующего полупериода переменного напряжения на анод A_2 через конденсатор C_1 от питающей сети будет также поступать напряжение со знаком плюс. Следовательно, на аноде A_2 будет действовать суммарное напряжение конденсатора C_1 и сети переменного тока. В результате конденсатор C_2 получит примерно вдвое большее напряжение, чем напряжение на конденсаторе C_1. Такое же напряжение будет и на нагрузке выпрямителя, включенной параллельно конденсатору C_2. Направление тока во время этого полупериода показано на фиг. 19 стрелками с черным оперением. Стрелки без оперения показывают направление тока через нагрузку.

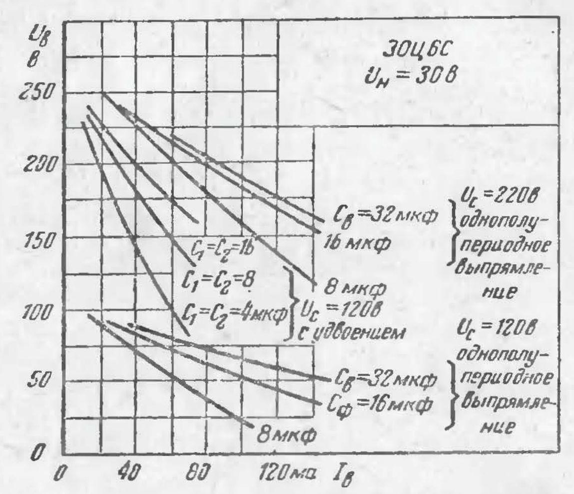
Во время следующих периодов переменного тока питающей сети описанные процессы будут все время повторяться, в результате чего энергия, отдаваемая конденсатором C_2 нагрузке, будет один раз за период восполняться. Очевидно, что в этой схеме частота пульсации напряжения на конденсаторе C_2 будет равна частоте питающего выпрямитель переменного тока.

На фиг. 20 приведены нагрузочные характеристики выпрямителя по схеме фиг. 19 при использовании в ней кенотрона 30Ц6С и конденсаторов C_1 и C_2 с различной емкостью.

Из этих характеристик видно, что в схеме фиг. 19 при отсутствии нагрузки (отсутствии тока, разряжающего конденсатор C_2) напряжение на C_2 достигает двойного амплитудного напряжения питающей сети: $U_{в\ макс} = 127 \times \times 2 \times 1{,}41 = 356$ *в* и при увеличении тока через нагрузку $U_в$ падает тем быстрее, чем меньше емкости C_1 и C_2. Нагрузочные характеристики выпрямителя с удвоением всегда идут более круто вниз по сравнению с характеристиками выпрямителей без удвоения (при тех же емкостях). Следовательно, в схеме фиг. 19 для получения возможно большего напряжения на нагрузке нужно иметь конденсаторы C_1 и C_2 возможно большей емкости.

Данные деталей этой схемы можно выбрать, руководствуясь нижеследующим. Емкость C_2 определяется из расчета максимально-допустимой пульсации на нем с помощью графика фиг. 3, т. е. как для однополупериодного выпрямителя. Фактически емкость C_2 можно взять при-

мерно в $1^1/_2$ раза меньше, чем получается по расчету, так как на анод A_2 подается не переменное, а пульсирующее напряжение (сумма пульсирующего напряжения на C_1 и переменного напряжения сети). При этом условии пульсация напряжения на C_2 также не превысит максимально-допустимой заданной для расчета величины. Однако не следует забывать, что чем больше будет емкость



Фиг. 20. Нагрузочные характеристики выпрямителей, работающих с кенотронами 30Ц6С при напряжении питающей сети 120 и 220 *в*.

C_2, тем большее можно получить на нем напряжение $U_в$ при том же токе $I_в$, отбираемом нагрузкой. Необходимую для пользования графиком фиг. 3 величину $R_в$ можно предварительно определить, приняв величину $U_в$ равной ориентировочно двойному эффективному напряжению питающей сети.

Емкость C_1 нужно взять в 2—2,5 раза больше емкости C_2. При этом уменьшается $p_в$ и несколько возрастает $U_в$. Рабочее напряжение конденсатора C_2 должно соответствовать полному выпрямленному напряжению, а рабочее напряжение конденсатора C_1 может быть вдвое меньшим.

Эффективный ток, идущий на аноды кенотрона от сети, будет примерно в 4—5 раз больше постоянной слагающей тока.

Практически при работе выпрямителя по схеме фиг. 19 с кенотроном 30Ц6С от сети с напряжением 120 ÷ 127 *в* следует применять конденсатор $C_1 = 40 \div 50$ *мкф* при $U_{раб} \geqslant 150$ *в* и конденсатор $C_2 = 16 \div 20$ *мкф* при $U_{раб} \geqslant 300$ *в*. При этом на C_2 можно получить $U_в > 200$ *в* с коэффициентом пульсации в несколько процентов при $I_в \approx 70$ *ма*, что вполне достаточно для хорошей работы 4—5-лампового супергетеродинного приемника индивидуального пользования или усилителя низкой частоты с выходной мощностью около 2 *вт*.

При монтаже выпрямителя по схеме фиг. 19 необходимо предусмотреть надежную изоляцию конденсатора C_1 от шасси во избежание короткого замыкания проводов питающей электросети.

Если нужно иметь бестрансформаторный выпрямитель для работы как от сети с $U = 120 \div 127$ *в*, так и от сети с $U = 220$ *в*, целесообразно построить его таким образом, чтобы при питании от 120-вольтовой сети он работал бы по схеме с удвоением, а при питании от 220-вольтовой сети удвоение исключалось бы и выпрямитель работал бы по обычной схеме однополупериодного выпрямления.

СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. СЕЛЕНОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ СТОЛБИК

В последние годы для питания ламповых радиоприемников и усилителей нередко применяются с е л е н о в ы е в ы п р я м и т е л и. Последние получили свое название потому, что в них преобразование переменного тока в пульсирующий осуществляется с помощью выпрямительных элементов, представляющих собой стальные или алюминиевые шайбы, покрытые с одной стороны тонким слоем селена (фиг. 21). Поверх селена нанесен еще слой из легкоплавкого сплава висмута, кадмия и олова. Железная или алюминиевая шайба является анодом выпрямительного элемента и называется н и ж н и м (или задним) э л е к т р о д о м. Слой легкоплавкого сплава представляет собой катод выпрямительного элемента и называется в е р х н и м (или передним) э л е к т р о д о м. Поэтому упомянутый легкоплавкий сплав называют еще катодным сплавом.

Если приложить положительный потенциал к нижнему, а отрицательный потенциал к верхнему электроду, то через

слой селена пойдет значительно больший ток, чем в случае, если приложить электрические потенциалы в противоположном направлении. Следовательно, изготовленная, как указано выше, шайба обладает выпрямительными свойствами и может быть использована в выпрямителях. Запирающее действие селенового элемента происходит на границе между слоями селена и катодного сплава.

Фиг. 21. Селеновая выпрямительная шайба.

Необходимо отметить, что сразу после включения напряжения на селеновый элемент наблюдается повышенная величина обратного тока. От действия проходящего тока происходит формовка селенового элемента и обратный ток уменьшается до нормальной величины в течение 3—5 мин., причем вначале ток падает резко, а потом медленнее. У селеновых элементов, которые долгое время не были в работе, формовка продолжается дольше.

Одиночная шайба может быть использована для выпрямления переменного напряжения при условии, что амплитуда обратного напряжения на ней не превышает 22—25 *в*. При большем приложенном напряжении запирающий слой может разрушиться (пробивается электрическим напряжением) и тогда шайба теряет свои выпрямительные свойства.

Для выпрямления переменных напряжений большей величины применяют селеновые выпрямители, составленные из ряда соединенных последовательно селеновых элементов, причем число последних берется из расчета, чтобы на каждый из них приходилась бы амплитуда обратного напряжения не свыше 22—25 *в*. Такая сборка из селеновых шайб носит название с е л е н о в о г о с т о л б и к а. Промышленностью выпускаются типовые собранные селеновые столбики с различным числом элементов (до 40 элементов в столбике).

Наименования селеновых столбиков, выпускаемых отечественной радиопромышленностью, состоят из букв ВС и двух групп цифр, разделенных друг от друга дефисами.

Буквы ВС обозначают выпрямитель селеновый, первая группа цифр—диаметр примененных в столбике шайб, а вторая группа цифр — заводской номер модели столбика. Так, например, наименование столбика ВС-35-13а, применяемого в выпрямителе приемника АРЗ-49, расшифровывается так: выпрямитель селеновый из шайб диаметром 35 *мм*, модель № 13а [1].

Конструктивной основой селенового столбика является металлический стержень, на который надета трубка из изоляционного материала с внешним диаметром, равным диаметру внутреннего отверстия шайбы. На этот стержень надеваются последовательно шайбы со слоем селена, пружинящая металлическая шайба, малая шайба, опять шайба со слоем селена и т. д. Пружинящая шайба осуществляет контакт верхнего электрода одного селенового элемента через малую металлическую шайбу с нижним электродом соседнего селенового элемента. Для получения плотного контакта между всеми соседними шайбами весь столбик стягивается с помощью гаек, навинчиваемых на концы металлического стержня. Некоторые типы столбиков снабжаются металлическими подставками, облегчающими их крепление при монтаже. Включение столба в схему выпрямителя осуществляется через два металлических «лепестка», один из которых соединен со стальной шайбой крайнего в столбике селенового элемента, а другой — с крайней в столбе пружинящей шайбой. Изоляционные шайбы препятствуют короткому замыканию между крайними элементами столба через стягивающий стержень.

Чем больше диаметр селеновых шайб, из которых составлен столбик, тем больший выпрямленный ток можно получить с его помощью.

В табл. 1 перечислено несколько типов селеновых шайб, которые могут найти применение в выпрямителях для питания радиолюбительских приемников и усилителей, с указанием, какой наибольший выпрямленный ток можно получить с их помощью, какое допустимо напряжение на каждую шайбу и с каким максимальным количеством селеновых шайб собираются столбики.

Падение напряжения на каждом селеновом элементе

[1] В обозначениях столбиков из алюминиевых шайб впереди ставится еще буква А.

Таблица 1

СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ШАЙБЫ

Диаметр, *мм*	Максимальное значение выпрямленного тока на шайбу в плече $I_в$		Максимальная амплитуда обратного напряжения на одну шайбу $U_{m\ обр}$, *в*	Эквивалентное расчетное сопротивление на 1 шайбу в прямом направлении $r_ш$, *ом*	Максимальное количество шайб в столбе, шт.
	при однополупериодной схеме, *ма*	при двухполупериодной и мостовой схемах, *ма*			
18	32	60	25	13,6	36
25	60	120	25	6,8	36
35	120	240	25	3,8	36
45	240	480	22	1,7	32

выпрямительного столбика при полной его нагрузке составляет 1—1,5 *в*.

Все эти данные относятся к случаям работы селеновых столбиков при температурах окружающей среды не свыше +35° С и беспрепятственного их охлаждения. Для этого селеновые выпрямительные столбики должны монтироваться горизонтально.

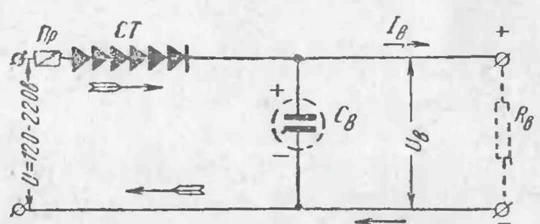
Выгода селенового выпрямителя по сравнению с кенотронным заключается прежде всего в том, что для получения с помощью селенового выпрямителя таких же величин $U_в$ и $I_в$ расходуется меньшая электроэнергия, чем на кенотронный выпрямитель, так как в селеновых выпрямителях нет цепей накала, а срок службы селенового столбика во много раз превышает срок службы кенотрона.

2. ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЕ СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Схема. Простейшая схема селенового выпрямителя дана на фиг. 22. Принцип ее действия почти такой же, как и схемы с кенотроном, показанной на фиг. 1. Во время тех полупериодов питающего переменного напряжения, когда на верхнем левом зажиме схемы получается плюс, через селеновый выпрямительный столбик в направлении, показанном стрелками с оперением, проходит ток, заряжающий конденсатор $C_в$. Во время полупериодов обратного знака ток через селеновый столбик настолько мал, что он практически не уменьшает напряжения на конденсаторе. Разряд $C_в$ идет

на нагрузку. Направление разрядного тока показано на схеме фиг. 22 стрелками без оперения. Эта схема так же, как и бестрансформаторная однополупериодная схема с кенотроном, дает возможность получить выпрямленное напряжение с величиной, близкой к величине напряжения питающей сети.

Для получения большего напряжения применяется схема с повышающим силовым трансформатором или с автотрансформатором. Последние схемы действуют так же, как и схе-



Фиг. 22. Принципиальная схема однополупериодного бестрансформаторного селенового выпрямителя.

ма по фиг. 22, с той лишь разницей, что напряжение на цепь: селеновый столбик *СТ* — конденсатор $C_в$ подается с вторичной обмотки трансформатора или с концов обмотки автотрансформатора.

Максимальный выпрямленный ток, который можно получить от схемы фиг. 22 при применении столбиков из селеновых шайб различного диаметра, указан во второй графе табл. 1. В случае, если с помощью имеющихся столбиков нужно получить больший выпрямленный ток, их можно соединять параллельно.

При использовании селенового выпрямителя по схеме фиг. 22 нити накала питаемых от него приемно-усилительных ламп могут быть соединены последовательно между собой и добавочным сопротивлением подобно тому, как это показано на фиг. 1. Однако такая схема питания накала в случае применения селенового выпрямителя не дает никаких преимуществ перед кенотронным выпрямителем в отношении к. п. д., так как весьма значительная часть мощности теряется на добавочном сопротивлении в цепи накала. Более экономичным является применение для питания накала приемно-усилительных ламп отдельного трансформатора накала с напряжением вторичной обмотки 6,3 *в*. Такой

трансформатор может быть выполнен весьма небольшого размера. При этом возможно применение в оконечном каскаде низкой частоты ламп с 6-вольтовым накалом.

В случае схемы селенового выпрямителя с силовым трансформатором питание накала приемно-усилительных ламп осуществляется от специальной обмотки трансформатора, а в случае схемы с автотрансформатором от части общей обмотки, либо от специальной обмотки.

Расчет. Необходимое количество последовательно включаемых селеновых шайб в столбике схемы однополупериодного выпрямителя зависит от амплитуды обратного напряжения, действующего на крайних шайбах столбика, которое так же, как и в кенотронном выпрямителе, равно $2{,}82 . U$, где U — эффективное напряжение на входе выпрямителя.

Исходя из этих данных, можно привести формулу для расчета потребного количества шайб n в столбике для случаев, если задано U, при котором амплитуда обратного напряжения на каждой шайбе не будет превышать указанного в табл. 1:

$$n = (0{,}11 \div 0{,}13) \cdot U. \qquad (17)$$

Коэффициент 0,11 берется для случаев применения в столбике шайб диаметром 7, 18, 25 и 35 *мм*, а коэффициент 0,13 — для случаев применения шайб диаметром 45 и 67 *мм*.

В выпрямителе с трансформатором или автотрансформатором для получения напряжения с заданным $U_в$ необходимое количество шайб n в столбе предварительно подсчитывается по той же формуле (17), но вместо напряжения сети U в нее подставляется величина U_{II}. Если в результате вычисления получается число с дробью, то его нужно округлить до ближайшего целого числа (если предполагается самостоятельно собирать столбик из шайб) или до ближайшего большего числа шайб типового столбика заводской сборки (если таковой имеется возможность применить). Из готового столбика, содержащего на несколько шайб больше, чем получается по расчету, излишние шайбы удалять не имеет практического смысла.

Для бестрансформаторного выпрямителя, дающего $I_в \leqslant 100—200$ *ма* и питаемого от сети с $U = 120 \div 127$ *в* можно рекомендовать применение столбика типа ВС-35-13а, состоящего из 16 последовательно соединенных шайб диаметром 35 *мм*. При самостоятельной сборке столбика для такого

выпрямителя достаточно применить только 14 шайб. Для выпрямителя, работающего от 220-вольтовой сети без повышающего трансформатора и дающего такой же выпрямленный ток, можно взять два последовательно соединенных таких столбика; при самостоятельной сборке достаточно собрать столбик из $24 \div 26$ шайб.

В случае, если вычисленное по последней формуле количество шайб превышает максимально-допустимое количество, указанное в табл. 1 (что может иметь место при выпрямлении напряжений выше 250—300 *в*), в схеме неизбежно приходится применять два или большее число последовательно соединенных селеновых столбиков, общее количество шайб в которых должно быть равно числу, полученному расчетом.

Количество шайб в одном столбике ограничивается потому, что при слишком длинном стягивающем их болте (стержне) он приобретает заметную гибкость, а при изгибах столбика может нарушиться плотность контактов между шайбами, покрытыми селеном, и контактными пружинящими шайбами. Это в свою очередь может привести к нарушениям в нормальной работе столбика.

После того как вычислено и выбрано практически необходимое число шайб в столбике, надо определять эквивалентное сопротивление всего столба, которое обозначим $r_к$, так как оно имеет при расчете такое же значение, как и внутреннее сопротивление кенотрона. Оно равно произведению эквивалентного сопротивления одной шайбы, на число последовательно фактически соединенных шайб в столбе, т. е.

$$r_к = r_ш \cdot n. \qquad (18)$$

Для случаев, когда в выпрямителе применяется новый селеновый столбик и от него берется максимальный допустимый для шайб данного диаметра выпрямленный ток или немного меньший по силе, величину $r_ш$ следует брать из табл. 1. Если же ток, отбираемый от выпрямителя, будет значительно меньше максимально-допустимого для шайб данного размера, вследствие нелинейности характеристик шайб величина $r_ш$ возрастает. Так, например, если от выпрямителя предполагается брать вдвое меньший ток, чем максимально-допустимый, то величина $r_ш$ должна быть принята примерно в $1^1/_2$ раза больше величины, указанной в табл. 1 для шайбы соответствующего размера; если же

расчет ведется на получение от выпрямителя тока, составляющего около одной четверти от максимального, то табличную величину $r_ш$ следует увеличить примерно в 3 раза.

После того как найдена величина $r_к$, расчет селенового выпрямителя ведется по формулам (4), (5), (7), (8) и (9) и графикам фиг. 3, 5 и 6.

В том случае, когда было задано выпрямленное напряжение и в результате расчета определено по формуле (8) необходимое напряжение U_{II}, следует проверить достаточность предварительно выбранного числа шайб путем подстановки в формулу (17) вычисленной величины U_{II}. Если проверочный расчет покажет большее число шайб, придется заново вычислить по формуле (18) сопротивление $r_к$ для нового числа n и повторить расчет U_{II} по формуле (8) при новой величине $r_к$.

Рабочее напряжение электролитических конденсаторов селенового выпрямителя должно быть по крайней мере в 1,41 раза больше эффективной величины питающего его переменного напряжения; такой величины получается выпрямленное напряжение до прогрева приемно-усилительных ламп.

Пример 5. Какое напряжение $U_в$ можно получить от схемы фиг. 22, питаемой от сети с напряжением $U=220$ *в*, при $C_в=40$ *мкф* с применением селеновых шайб диаметром 35 *мм*, если нужно снимать с выпрямителя ток $I_в=80$ *ма*?

Прежде всего определяют по формуле (17) необходимое число последовательно соединенных шайб в столбе

$$n=0{,}11\cdot U=0{,}11\cdot 220=24{,}2.$$

Следовательно, нужно иметь в столбе 25 шайб.

Из табл. 1 находят эквивалентное сопротивление одной шайбы диаметром 35 *мм* при полной нагрузке $r_ш=3{,}8$ *ом*. Так как нужно снимать с выпрямителя меньший ток, принимают для расчета увеличенную величину сопротивления $r_ш=5{,}5$ *ом*. Эквивалентное сопротивление столба из 25 шайб $r_к=5{,}5\cdot 25\approx 140$ *ом*.

По графику фиг. 5 находим, что для $C_в=40$ *мкф* коэффициент $A_1=4{,}38$. Подставляя теперь все известные величины в формулу (4), получаем:

$$U_в=1{,}41\cdot\left(U-\frac{A_1\cdot r_к\cdot I_в}{1\,000}\right)=1{,}41\left(220-\frac{4{,}38\cdot 140\cdot 80}{1\,000}\right)\approx 242\ в.$$

Старение селеновых столбиков. Необходимо отметить одно неприятное свойство селеновых выпрямительных

шайб — так называемое явление **с т а р е н и я**. Оно заключается в том, что в течение некоторого срока работы селеновых выпрямителей сопротивление шайб $r_ш$ в прямом направлении увеличивается, вследствие чего возрастает падение напряжения на столбике и уменьшается выпрямленное напряжение. Явление старения селеновых шайб бывает наиболее заметно по истечении первых 1 500—2 000 час. их работы. За это время сопротивление $r_ш$ может возрасти на 25÷30%, а в некоторых случаях и на 50%. После указанного срока сопротивление столбика стабилизуется.

Исходя из этих соображений, расчет напряжения U_{II} на вторичной обмотке силового трансформатора (или на всей обмотке автотрансформатора), питающего селеновый столбик, рекомендуется производить дважды. Первый расчет производится с величиной $r_к$, вычисленной по формуле (18), а второй расчет с величиной $r_к$, увеличенной еще на 50%. В результате этих двух расчетов будут получены две величины U_{II}: первая, меньшая, обеспечивающая получение заданных $I_в$ и $U_в$ в начале эксплоатации выпрямителя, и вторая, большая, которая должна подаваться на столбик для обеспечения тех же выпрямленного напряжения и тока после того, как произойдет старение селеновых шайб. Вторичную обмотку трансформатора или обмотку автотрансформатора следует конструировать на напряжение, которое нужно будет иметь после старения столбика, но сделать от нее отвод, с которого можно получить меньшее напряжение, требуемое для нового, не бывшего в работе столбика. В начале эксплоатации выпрямителя селеновый столбик подключается к этому отводу, а через некоторое время, когда будет замечено уменьшение выпрямленных напряжений и тока, столбик отключается от этого отвода и присоединяется к концу обмотки. Если в конструкции выпрямителя намечается применение селенового столбика, уже бывшего продолжительное время в работе, можно произвести расчет вторичной обмотки только для повышенного внутреннего сопротивления $r_к$ и отвода от обмотки не делать.

Очевидно, что в случае бестрансформаторного выпрямителя придется мириться с уменьшением выпрямленного напряжения после некоторого времени эксплоатации выпрямителя. Если же нужно иметь одинаковое выпрямленное

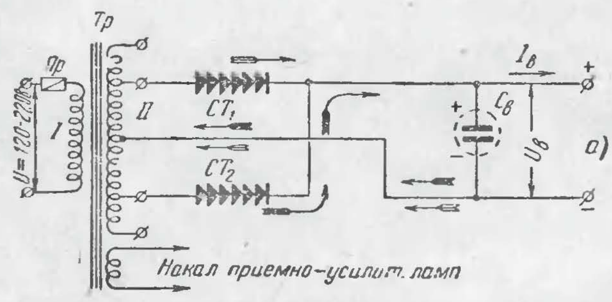
напряжение как в начале эксплоатации столбика, так и после его старения, можно на первое время включить последовательно со столбиком сопротивление, которое уменьшит на это время выпрямленное напряжение, а после того как произойдет старение столбика, это сопротивление замкнуть накоротко.

Такой же способ компенсации явления старения столбика можно, конечно, применить также в трансформаторной и автотрансформаторной схеме, включая сопротивление между вторичной обмоткой трансформатора или автотрансформатора и селеновым столбиком. Таким образом, можно избежать устройства отвода от обмотки.

Применение сопротивления, включенного последовательно со столбиком, может иметь смысл также и из того соображения, что оно уменьшает бросок тока через столбик в момент включения выпрямителя в электросеть.

3. ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЕ СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

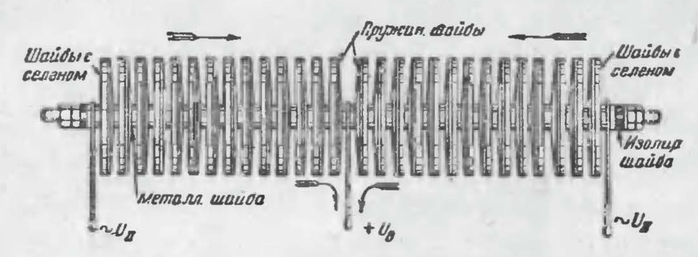
Приведенная на фиг. 23 схема двухполупериодного селенового выпрямителя по принципу действия не отличается от двухполупериодных выпрямителей с кенотронами.



Фиг. 23. Принципиальная схема двухполупериодного селенового выпрямителя.

Такая схема обычно применяется в тех случаях, когда напряжение со вторичной обмотки не превышает $250 \times 2 \div 300 \times 2$ *в*. При необходимости выпрямлять большие напряжения может быть применена схема с двумя или бо́льшим числом последовательно включенных столбиков в каждом плече. При относительно небольших выпрямляемых напряжениях, не превышающих $120 \times 2 \div 150 \times 2$ *в*,

необходимое для обоих плеч схемы количество селеновых шайб может быть собрано на одном стержне. В последнем случае применяется один столбик специальной сборки с четным числом селеновых шайб и с дополнительным выводным лепестком между двумя средними шайбами (фиг. 24) В таком столбике селеновые шайбы в его половинках должны быть собраны таким образом, чтобы имела место проводимость от каждого из концов столбика к его среднему выводу. Иными словами, крайними шайбами столбика должны быть шайбы с селеновым слоем, а средними шайбами, меж-



Фиг. 24. Селеновый столбик для двухполупериодного выпрямителя с силовым трансформатором, имеющим вывод от средней точки вторичной обмотки.

ду которыми сделан дополнительный вывод, — контактные пружинящие шайбы.

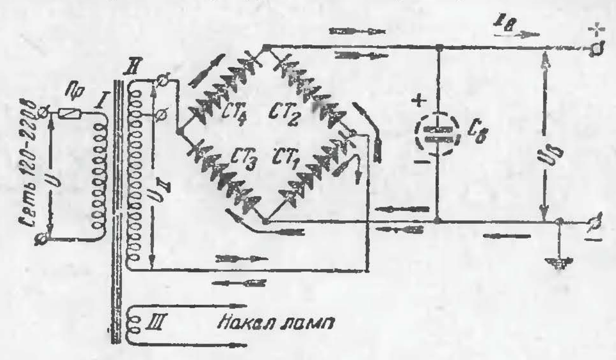
Направление тока в схемах во время одного полупериода показано на фиг. 23 и 24 стрелками со светлым оперением, а во время второго полупериода — стрелками с черным оперением.

Показанные на схеме фиг. 23 отводы от половинок вторичной обмотки трансформатора служат для осуществления возможности увеличения напряжения, подаваемого на селеновые столбики при их старении.

Необходимое количество шайб n в каждом плече схемы двухполупериодного выпрямителя может быть найдено по формуле (17). Общее потребное количество шайб будет, очевидно, вдвое большим. По результатам этого расчета конструктор и выносит решение, сколько всего столбиков должно быть в схеме выпрямителя. Общее эквивалентное сопротивление шайб, включенных в одно плечо, вычисляется по формуле (18) и дальше расчет ведется как расчет кенотронного выпрямителя по формулам (10), (11) и (12) с использованием графиков на фиг. 12, 13 и 15.

4. МОСТОВЫЕ СХЕМЫ СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Описанные выше двухполупериодные селеновые выпрямители с силовыми трансформаторами, имеющими выводы от средних точек вторичных обмоток, применяются в радиолюбительской практике относительно редко. При желании осуществить двухполупериодное выпрямление с помощью селеновых столбиков целесообразнее применять так называемую мостовую схему (фиг. 25). Преимущество последней



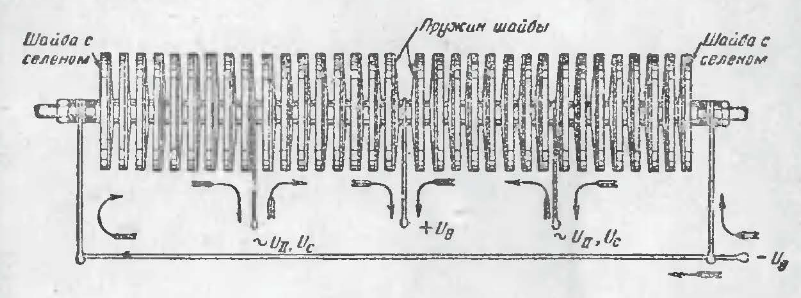
Фиг. 25. Мостовая схема селенового выпрямителя.

заключается в том, что вторичная обмотка ее силового трансформатора не имеет средней точки и должна давать напряжение, примерно равное напряжению одной половины обмотки *II* в схеме фиг. 23. Поэтому трансформатор для мостовой схемы может иметь меньшие размеры и требует для изготовления меньшего количества стали и провода. Кроме того, мостовая схема позволяет получить двухполупериодное выпрямление без применения трансформатора.

Как видно из фиг. 25, такая схема состоит из четырех групп селеновых выпрямительных элементов CT_1, CT_2, CT_3 и CT_4, образующих четыре плеча моста. Во всех диагоналях должно быть по равному числу одинаковых шайб. К одной из диагоналей моста подводится переменное напряжение, в другой диагонали получается выпрямленное напряжение. Общее число селеновых элементов в мостовой схеме обычно равно числу элементов в обычной двухполупериодной схеме.

При выпрямлении напряжений примерно до 125—150 *в* все селеновые элементы могут быть собраны в один столбик, имеющий пять выводов (фиг. 26). При выпрямлении

напряжений приблизительно до 250—300 *в* в схеме выпрямителя применяется два столбика с равным четным числом шайб в каждом, причем каждый из столбиков имеет по три вывода: два от крайних шайб и один между двумя средними шайбами (фиг. 27). Такой столбик отличается от столбика, изображенного на фиг. 24, порядком сборки шайб; селеновые слои всех шайб направлены в нем в одну сторону. Наконец, для выпрямления напряжений выше 250—300 *в* в каждое плечо мостовой схемы должен быть вклю-



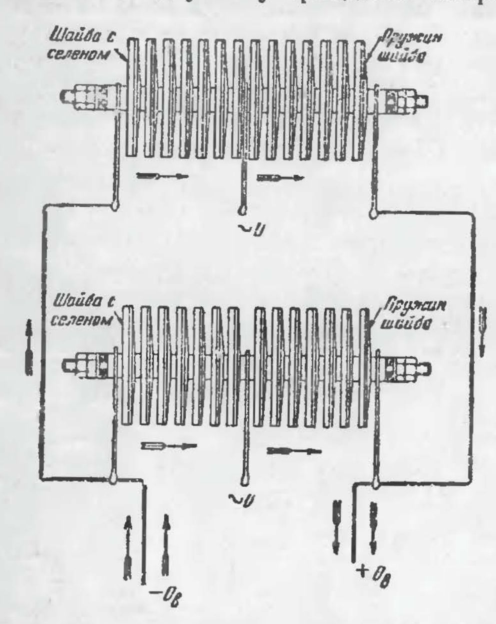
Фиг. 26. Сборка селенового столба для мостовой схемы.

чен отдельный столбик или даже по нескольку столбиков последовательно [1].

Работают схемы мостовых выпрямителей следующим образом. Во время одного полупериода переменного напряжения происходит зарядка конденсатора $C_в$ за счет тока, проходящего через группы селеновых шайб CT_4 и CT_1. Путь этого тока показан стрелками со светлым оперением. Группы селеновых шайб CT_3 и CT_2 в это время тока через себя практически не пропускают. Во время полупериода переменного напряжения другого знака конденсатор заряжается током, проходящим через группы селеновых шайб CT_2 и CT_3, путь которого показан стрелками с черным оперением. При этом группы селеновых шайб CT_1 и CT_4 не пропускают через себя тока. Выпрямленное напряжение на нагрузку снимается с конденсатора $C_в$.

[1] Мостовая схема, вообще говоря, может быть использована и в кенотронном выпрямителе. В этом случае нужно иметь четыре одинаковых одноанодных кенотрона или два двуханодных кенотрона с разделенными катодами. Такие схемы получаются громоздкими и неэкономичными. Поэтому они и не имеют практического применения.

Следует заметить, что во вторичной обмотке трансформатора мостовой схемы протекает ток во время обоих полупериодов переменного напряжения, в то время как в обычной схеме двухполупериодного выпрямителя каждая половина вторичной обмотки работает только во время одного полупериода.



Фиг. 27. Мостовая схема, составленная из двух селеновых столбов.

Кроме приведенной на фиг. 25 схемы возможна, конечно, мостовая схема с автотрансформатором. Необходимо лишь отметить, что в случае применения мостовой схемы с автотрансформатором питание накала приемно-усилительных ламп должно обязательно производиться от отдельной обмотки, так как включение нитей накала ламп на часть сетевой обмотки автотрансформатора и соединение их с минусом выпрямленного напряжения приводят к замыканию одного из плеч мостовой схемы, что нарушает ее нормальную работу. Необходимо также отметить, что хотя при мостовой схеме селенового выпрямителя без трансформатора или с автотрансформатором ни один из проводов электросети не имеет прямого соединения с минусом выпрямленного напряжения, однако заземлять минус нельзя, так как при этом через плечи моста может пройти значительный ток утечки на землю, который выведет селеновый выпрямитель из строя. Заземление минуса таких выпрямителей, так же как и в случае однополупериодных выпрямителей, можно производить только через конденсатор.

Расчет мостовой схемы. Расчет мостовой схемы почти ничем не отличается от расчета обычной двухполупериодной схемы. Прежде всего по формуле (17) вычисляется необходимое количество селеновых шайб в двух плечах схемы. Полученный результат округляется до ближайшего большего ч е т н о г о числа или до числа шайб в типовом столбе заводской сборки. Следовательно, количество селеновых шайб в одном плече мостовой схемы будет в два раза меньше количества, вычисленного по формуле (17), а общее количество селеновых шайб в выпрямителе будет вдвое больше вычисленного количества. При вычислении величины $r_к$ по формуле (18) число n принимается равным количеству шайб в двух плечах моста.

Необходимое напряжение на вторичной обмотке трансформатора определяется по формуле (11) с использованием графика фиг. 13; число n опять принимается равным числу шайб в двух плечах моста.

Постоянная слагающая выпрямленного напряжения $U_в$, получающаяся на конденсаторе $C_в$ селенового выпрямителя по мостовой схеме, при известном переменном напряжении U, может быть найдена по формуле:

$$U_в = 1{,}41\left(U - \frac{A_2 \cdot r_к \cdot I_в}{1\,000}\right). \qquad (19)$$

При вычислениях по формуле (19) коэффициент A_2 берется из графика фиг. 13.

Эффективный ток во вторичной обмотке трансформатора или же ток, потребляемый выпрямителем от сети по бестрансформаторной схеме, вычисляется по формуле

$$I = 1{,}41 \cdot I_в \cdot B_2. \qquad (20)$$

Величина B_2 определяется с помощью графика фиг. 15.

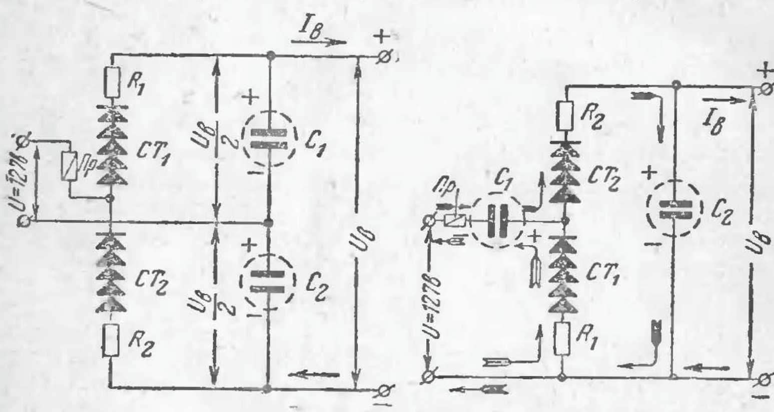
5. СХЕМЫ СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С УДВОЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

На селеновых столбиках могут быть собраны выпрямители с удвоением напряжения по таким же принципиальным схемам, что и аналогичные схемы с кенотронами.

Двухполупериодная схема с удвоением напряжения. В этой схеме (фиг. 28) во время полупериодов переменного напряжения одного знака, когда плюс на верхнем сетевом зажиме, ток проходит через группу селеновых элементов CT_1 и заряжает конденсатор C_1; во время полупериодов

противоположного знака ток проходит через группу селеновых элементов CT_2 и заряжает конденсатор C_2. Так как отрицательный полюс конденсатора C_1 соединен с положительным полюсом конденсатора C_2, между положительным полюсом C_1 и отрицательным полюсом C_2 получается удвоенное выпрямленное напряжение.

Расчет выпрямленного напряжения $U_в$, получаемого от селенового выпрямителя с удвоением, можно производить



Фиг. 28. Принципиальная схема селенового двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения.

Фиг. 29. Принципиальная схема селенового однополупериодного выпрямителя с удвоением напряжения.

по формуле (13), подставляя в нее вместо внутреннего сопротивления кенотрона $r_к$ произведение эквивалентного сопротивления одной шайбы на число шайб в группе (CT_1 или CT_2), т. е. $r_ш \cdot n$. Необходимое число шайб в каждой группе определяется так же, как и для однополупериодного выпрямителя. Эффективное значение переменного тока, потребляемого селеновым выпрямителем с удвоением по схеме фиг. 28, вычисляется по формуле

$$I_c = 1{,}41 \cdot I_в \cdot B_1. \qquad (21)$$

Коэффициент B_1 берется из графика фиг. 6.

Однополупериодная схема с удвоением напряжения. Селеновый однополупериодный выпрямитель с удвоением (фиг. 29) по принципу действия подобен такому же кенотронному выпрямителю. Во время полупериодов одного знака происходит зарядка конденсатора C_1 (за счет тока, пропускаемого группой селеновых элементов CT_1); во время полупериодов противоположного знака ток проходит через группу селеновых элементов CT_2 за счет суммарного переменного напряжения сети и напряжения на конденсаторе C_1. Вследствие этого конденсатор C_2 заряжается примерно до вдвое большего напряжения, чем конденсатор C_1.

Примерный расчет элементов этой схемы может быть произведен, руководствуясь указаниями, данными для расчета кенотронного выпрямителя с удвоением. Число шайб в каждой группе берут одинаковое и равное необходимому числу элементов для обычной однополупериодной схемы при данном напряжении сети, так как обратное напряжение на каждой группе селеновых элементов не превышает двойного амплитудного напряжения сети ($2{,}82\,U$). Достаточность такого количества шайб в группе CT_1 определяется тем, что часть схемы, состоящая из этой группы и конденсатора C_1, представляет собой по существу обычный однополупериодный выпрямитель; достаточность же такого количества шайб в группе CT_2 определяется тем, что постоянная слагающая обратного напряжения, действующего на нее, равна разности напряжений на конденсаторах C_1 и C_2 (так как по отношению к группе CT_2 эти напряжения включены навстречу друг другу), т. е. составляет примерно половину напряжения $U_в$. Последняя же величина в сумме с амплитудной величиной напряжения сети, очевидно, не превышает $2{,}82\,U$.

Следовательно, при напряжении питающей сети в 120—127 *в* в каждой группе схемы фиг. 34 достаточно иметь по 14—16 селеновых шайб, а всего в выпрямителе нужно иметь 28—32 селеновых шайбы. Их можно собрать в общий столбик со средним выводом. Если же понадобится применять схему удвоения при напряжении сети в 220 *в*, то для такого выпрямителя потребуется 28—32 селеновых шайбы.

СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

1. НАЗНАЧЕНИЕ ФИЛЬТРОВ

Допустимые пульсации напряжений, питающих радиоприемники и усилители. Изучая схемы выпрямителей и производя их расчеты, мы видели, что с их помощью можно получить постоянные по направлению напряжения с коэф-

фициентом пульсации порядка нескольких процентов. Если напряжения с такими пульсациями подать на аноды и экранирующие сетки электронных ламп радиоприемников или усилителей, воспроизведение радиопередачи будет сопровождаться значительным фоном (гудением).

Полностью уничтожить пульсации выпрямленного напряжения практически очень трудно. Поэтому приходится ограничиваться уменьшением коэффициента пульсаций анодных и экранных напряжений до столь малых величин, при которых фон переменного тока делается настолько слабым, что человеческое ухо не может его уловить или, в крайнем случае, обнаруживает фон только при напряжении слуха.

В табл. 2 приведены максимально допустимые коэффициенты пульсации различных каскадов радиоприемников и усилителей низкой частоты, при которых фон в воспроизводимой радиопередаче делается практически незаметным.

Таблица 2

НАИБОЛЬШИЕ ДОПУСТИМЫЕ ПУЛЬСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ КАСКАДОВ РАДИОПРИЕМНИКОВ И УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

	Пульсация в %
Анодные напряжения каскадов усиления высокой частоты и промежуточной частоты супергетеродинов	0,02—0,1
Анодные напряжения первых каскадов усиления низкой частоты супергетеродинов и усилителей, работающих от граммофонных звукоснимателей	0,01—0,05
Анодные напряжения первых каскадов микрофонных усилителей	0,001—0,002
Анодные напряжения однотактных оконечных низкочастотных каскадов	0,1—0,3
Напряжения на экранных сетках тех же каскадов	0,05—0,1
Анодные напряжения двухтактных оконечных низкочастотных каскадов	0,5—2,0

Нужно отметить, что приводимые в этой таблице цифры являются ориентировочными. Если, например, усилитель низкой частоты «заваливает» самые низкие частоты звукового диапазона и громкоговоритель плохо их воспроизводит, фон может быть незаметным и при больших коэффициентах пульсаций. Если же, наоборот, имеет место «подъем» в усилении и воспроизведении частот в диапазоне 50—100 *гц*, то при указанных в табл. 2 пульсациях фон может сделаться заметным и потребуется пульсацию уменьшить.

Немаловажное значение имеет схема питания оконечного каскада с пентодом или лучевым тетродом. Обеспечивая малый коэффициент пульсации напряжения на его экранирующей сетке, можно допустить больший коэффициент пульсации анодного напряжения.

Наконец, применение в усилителе низкой частоты отрицательной обратной связи или специальной схемы компенсации фона (как это сделано, например, в приемнике «Рекорд-47») позволяет подать на его лампы питающие напряжения с большим коэффициентом пульсации.

Коэффициент сглаживания. Снижение коэффициента пульсации от величины нескольких процентов, получающейся на конденсаторе, соединенном непосредственно с катодом кенотрона (или селенового столбика), до необходимой малой величины, выбираемой по табл. 2, осуществляется с помощью *сглаживающих фильтров*, а сам процесс снижения величины пульсаций называют сглаживанием пульсаций или *фильтрацией выпрямленного напряжения* (имея в виду отфильтровывание его переменной слагающей от постоянной слагающей).

Число, показывающее, во сколько раз напряжение пульсации после фильтрации меньше напряжения пульсации, даваемого выпрямителем до фильтрации, носит название *коэффициента сглаживания пульсаций* или *коэффициента фильтрации*. Его математическое выражение:

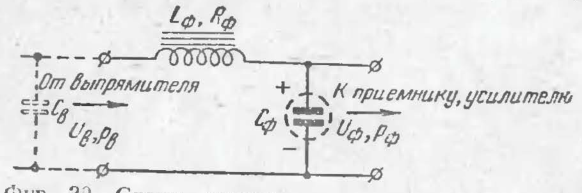
$$ф = \frac{U_{m\ до\ фильтра}}{U_{m\ после\ фильтра}} = \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф}, \qquad (22)$$

где $U_ф$ и $p_ф$ — постоянная слагающая напряжения и коэффициент пульсации после фильтра. Выше указывалось, что конденсатор $C_в$, присоединенный непосредственно к катоду кенотрона или селенового столбика, уже является элементом, сглаживающим пульсации. Но если бы потребовалось, не внося никаких принципиальных добавлений в схемы описанных выше выпрямителей, получить напряжения с такими малыми коэффициентами пульсации, какие указаны в табл. 2, пришлось бы включать в схемы конденсаторы с очень большими емкостями (конструктивно целые батареи конденсаторов). Мало того, что выпрямители получились бы очень громоздкими и дорогими, в таких батареях из элек-

тролитических конденсаторов имел бы место большой ток утечки. Поэтому проще конструктивно и выгоднее экономически производить сглаживание пульсаций с помощью дополнительных деталей, вводимых в схему выпрямителя.

2. ДРОССЕЛЬНО-ЕМКОСТНЫЙ ФИЛЬТР

Действие дроссельно-емкостного фильтра. Наиболее распространенным и эффективным способом сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения является применение в выпрямителе дроссельно-емкостного фильтра. В своем простейшем виде такой фильтр состоит из одного дросселя



Фиг. 30. Схема однозвенного дроссельно-емкостного сглаживающего фильтра.

$L_ф$ с сердечником из трансформаторной стали и конденсатора (обычно электролитического) $C_ф$ (фиг. 30). Здесь выпрямленный ток проходит на нагрузку через обмотку дросселя, которая, обладая относительно небольшим сопротивлением для постоянной слагающей (небольшим активным сопротивлением), в то же время представляет собой значительно бо́льшее сопротивление для переменной слагающей (большое индуктивное сопротивление). В результате переменная слагающая выпрямленного тока, идущего через дроссель, ослабляется им в значительно большей мере, чем постоянная слагающая.

Параллельно нагрузке включен конденсатор $C_ф$. Если его утечка не велика, постоянная слагающая тока на него практически не ответвляется. В то же время, если он обладает настолько большой емкостью, что его емкостное сопротивление значительно меньше эквивалентного сопротивления нагрузки, большая часть переменной слагающей тока, все же прошедшей через дроссель, замыкается через этот конденсатор, минуя нагрузку.

Возможно несколько иное толкование физических процессов, происходящих в дроссельно-емкостном фильтре. Сглаживание пульсаций дросселем $L_ф$ осуществляется

вследствие того, что он, обладая индуктивностью, препятствует всякому изменению (как увеличению, так и ослаблению) тока через него. Когда ток нарастает, дроссель задерживает его увеличение, а когда ток уменьшается — он стремится поддержать его. Сглаживание же пульсаций конденсатором происходит потому, что в моменты повышения напряжения конденсатор подзаряжается, «вбирая в себя» дополнительную энергию, а в те моменты, когда приходящее напряжение уменьшается, конденсатор препятствует этому уменьшению.

Расчет дроссельно-емкостного фильтра. Вследствие того, что емкость конденсатора $C_в$, соединенного непосредственно с катодом кенотрона (или селенового столбика), как мы уже говорили, влияет на величину пульсации выпрямленного напряжения, этот конденсатор также можно считать элементом (частью, деталью) сглаживающего фильтра. Его часто называют входным конденсатором фильтра. Соответственно конденсатор $C_ф$ получает название выходного конденсатора фильтра.

При расчете фильтра к выпрямителю мы будем учитывать только сглаживающее действие дросселя $L_ф$ с выходным конденсатором $C_ф$, считая, что коэффициент пульсации напряжения на входном конденсаторе $C_в$ является заданной величиной, определяемой приведенными выше расчетами выпрямителя. Соответственно коэффициент фильтрации можно определить как отношение переменной слагающей напряжения на входном конденсаторе к переменной слагающей на выходном конденсаторе фильтра и формулу (22) написать в таком виде:

$$ф = \frac{U_{m\ на\ входном\ конденсаторе}}{U_{m\ на\ выходном\ конденсаторе}}. \qquad (23)$$

Однако нужно отметить, что в некоторых случаях, когда выбором емкости конденсатора $C_ф$ и дросселя $L_ф$ по какой-либо технической причине не удается довести пульсацию на выходном конденсаторе и на нагрузке до необходимой малой величины, приходится уменьшать пульсацию на входном конденсаторе $C_в$ путем увеличения его емкости, добиваясь таким образом снижения пульсации напряжения, подаваемого на нагрузку, или применить более сложный фильтр (см. ниже).

Коэффициент сглаживания дроссельно-емкостного фильтра может быть вычислен по индуктивности дросселя $L_ф$ в генри, емкости выходного конденсатора $C_ф$ в микрофарадах и частоте пульсации f по формуле

$$ф = \frac{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot L_ф \cdot C_ф}{10^6}. \quad (24)$$

При однополупериодном выпрямлении переменного тока промышленной частоты, когда частота пульсации равна частоте питающего тока ($f=50$ *гц*), эта формула принимает следующий простой вид:

$$ф = 0{,}1 \cdot L_ф \cdot C_ф, \quad (25)$$

а при двухполупериодном выпрямлении, когда получается вдвое большая частота пульсации ($f=100$ *гц*) формула (24) приобретает такой вид:

$$ф = 0{,}4 \cdot L_ф \cdot C_ф. \quad (26)$$

Сопоставляя формулы (25) и (26), мы видим, что при одном и том же произведении $L_ф \cdot C_ф$ в случае двухполупериодного выпрямления получается в 4 раза лучшее сглаживание пульсаций, чем при однополупериодном выпрямлении. Соответственно, при двухполупериодном выпрямлении можно взять произведение $L_ф \cdot C_ф$ в 4 раза меньшим (любым способом: уменьшением индуктивности дросселя $L_ф$, емкости конденсатора $C_ф$ или обеих величин одновременно) и получить такое же сглаживание пульсаций, как при однополупериодном выпрямлении.

Практически при конструировании выпрямителя с фильтром необходимо решить вопрос о выборе индуктивности дросселя $L_ф$ и емкости $C_ф$, при которых можно получить для питания радиоприемника или усилителя постоянное напряжение с допустимым коэффициентом пульсации.

Прежде чем рассчитывать фильтр, нужно определить по приводимым выше формулам, какое будет напряжение $U_в$ на входном конденсаторе $C_в$ и коэффициент пульсации этого напряжения $p_в$, а также выбрать необходимое для питания нагрузки напряжение $U_ф$ и допустимый коэффициент пульсации $p_ф$.

Возможны два основных варианта расчета фильтра:

1. Имеется готовый дроссель с известной индуктивностью $L_ф$ и требуется определить емкость $C_ф$.
2. Имеется конденсатор с емкостью $C_ф$ и требуется определить, с какой индуктивностью $L_ф$ нужно изготовить или подобрать к нему дроссель.

1-й случай расчета. Нужно помнить, что не всякий имеющийся дроссель будет пригоден для применения в фильтре. Поэтому, прежде чем вычислять необходимую к данному дросселю емкость конденсатора, нужно убедиться в том, что провод обмотки этого дросселя допускает прохождение через него тока $I_в$, требуемого нагрузкой. Такую проверку можно сделать по таблицам проводов, имеющимся в различных справочниках, либо по формуле:

$$I_L = 1600 \cdot d^2, \quad (27)$$

где I_L — допустимый через обмотку дросселя ток в *ма*, из расчета плотности тока 2 *а/мм*² и d—диаметр провода обмотки дросселя в *мм*.

Если окажется, что величина тока $I_в$ больше величины тока I_L, полученной при расчете по формуле (27), значит дроссель без перемотки более толстым проводом непригоден к применению в данном фильтре.

В случаях применения бестрансформаторного выпрямителя или выпрямителя с готовым трансформатором, когда напряжение $U_в$, получающееся на входном конденсаторе фильтра при данном токе $I_в$, является величиной, определяемой только свойствами самой схемы и ее деталей и когда нужно получить после сглаживания на нагрузке напряжение $U_ф$ определенной величины (конечно меньшее, чем $U_в$), необходимо проверить пригодность имеющегося дросселя по сопротивлению его обмотки постоянному току.

Максимально допустимое сопротивление обмотки дросселя в омах для такого выпрямителя вычисляется по формуле:

$$R_ф = \frac{1\,000 \cdot (U_в - U_ф)}{I_в}. \quad (28)$$

Если окажется, что обмотка дросселя обладает большим сопротивлением, чем $R_ф$, получающееся при вычис-

лении по формуле (28), значит, применяя имеющийся дроссель, не удастся получить на нагрузке постоянного напряжения желательной величины; фактическое напряжение после фильтрации $U_ф$ будет меньше и может быть подсчитано по формуле

$$U_ф = U_в - \frac{I_в \cdot R_ф}{1\,000}. \qquad (29)$$

В последнем случае конструктор должен решить, можно ли удовлетвориться получающимся напряжением на выходном конденсаторе фильтра $C_ф$ при имеющемся дросселе или придется брать другой дроссель с меньшим сопротивлением $R_ф$*.

При самостоятельном расчете и постройке силового трансформатора для выпрямителя затруднение в выборе дросселя по сопротивлению может быть легко преодолено, если $R_ф$ будет учтено при расчете напряжения, даваемого вторичной повышающей обмоткой трансформатора.

После того как установлено, что имеющийся дроссель с индуктивностью $L_ф$ пригоден по вышеуказанным показателям, можно произвести вычисление необходимой емкости $C_ф$, пользуясь следующими формулами:

для случая однополупериодного выпрямления:

$$C_ф = \frac{10}{L_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф} \qquad (30)$$

и для случая двухполупериодного выпрямления:

$$C_ф = \frac{2{,}5}{L_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф}. \qquad (31)$$

Полученная расчетом емкость округляется до ближайшей типовой емкости конденсатора.

Конденсатор $C_ф$ берется с таким же рабочим напряжением, как и конденсатор $C_в$, с расчетом на то, чтобы при отключении нагрузки он не был пробит повысившимся напряжением.

---

* Напряжение как на входе, так и на выходе фильтра можно поднять в небольших пределах, увеличивая емкость входного конденсатора $C_в$ (см. расчет напряжения $U_в$ на стр. 18, 40 и 59).

2-й случай расчета. Если требуется вычислить необходимую индуктивность $L_ф$ при известной емкости конденсатора $C_ф$, то расчет производится по формулам:

для однополупериодного выпрямителя

$$L_ф = \frac{10}{C_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_в} \qquad (32)$$

и для двухполупериодного выпрямителя

$$L_ф = \frac{2{,}5}{C_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф}. \qquad (33)$$

Обычно при расчете задаются емкостью $C_ф$, примерно равной емкости входного конденсатора фильтра $C_в$.

Если расчет покажет, что при выбранной $C_ф$ получается дроссель с очень большой индуктивностью (конструктивно трудно выполнимый), то следует задаться большей $C_ф$ и повторить расчет, либо применить более сложный фильтр (см. ниже).

Указания по расчету сердечника и обмотки дросселя для получения необходимой индуктивности, а также указания по изготовлению дросселя даны ниже.

Пример 6. Рассчитать дроссельно-емкостный фильтр к однополупериодному бестрансформаторному выпрямителю, питаемому от сети с напряжением 220 *в* и дающему на конденсаторе $C_в$ напряжение $U_в = 278$ *в*, с пульсацией $p_в = 4\%$ при токе $I_в = 40$ *ма* (см. примеры 1 и 2), если необходимо подать на приемник анодное напряжение $U_ф = 250$ *в* при коэффициенте пульсации $p_ф = 0{,}05\%$. На выходе фильтра предполагается включить конденсатор емкостью $C_ф = 30$ *мкф*.

По формуле (28) определяем необходимое сопротивление обмотки дросселя:

$$R_ф = \frac{1\,000 \cdot (U_в - U_ф)}{I_в} = \frac{1\,000\,(278 - 250)}{40} = 700 \text{ ом}.$$

По формуле (32) вычисляем индуктивность дросселя

$$L_ф = \frac{10}{C_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф} = \frac{10}{30} \cdot \frac{278 \cdot 4}{250 \cdot 0{,}05} \approx 30 \text{ гн}.$$

Пример 7. Определить необходимую емкость $C_ф$ дроссельно-емкостного фильтра к двухполупериодному выпрямителю, рассчитанному в примере 4 (стр. 35), если на питание приемника необходимо подать напряжение с пульсацией $p_ф \leqslant 0{,}02\%$. Индуктивность имеющегося дросселя типа ФД-1 $L_ф = 20$ *гн*.

Из примера 4 нам известны следующие величины: напряжение на входе фильтра $U_в = 310$ *в*, напряжение на выходе фильтра $U_ф = 250$ *в*, коэффициент пульсации напряжения на входе фильтра $p_в = 7\%$.

Допустимость величины активного сопротивления дросселя $R_ф = 1\,000$ *ом* вытекает из расчета, выполненного в примере 4.

Необходимую емкость выходного конденсатора определяем по формуле (31)

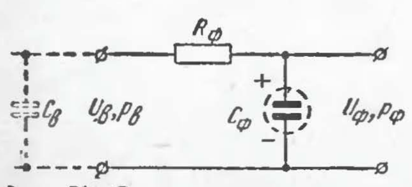
$$C_ф = \frac{2,5}{L_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф} = \frac{2,5}{20} \cdot \frac{310 \cdot 7}{250 \cdot 0,02} = 54,5 \text{ мкф}.$$

Следовательно, для получения необходимого сглаживания на выходе фильтра придется включить два конденсатора по 30 *мкф* или три конденсатора по 20 *мкф*. При этом фактический коэффициент $p_ф$ станет, очевидно, меньше заданного и не будет превышать 0,014%, в чем читатель может убедиться путем самостоятельного расчета. Рационально уменьшить пульсацию напряжения на конденсаторе $C_в$ путем увеличения его емкости. Тогда потребуется меньшая емкость $C_ф$ и можно будет обойтись меньшим количеством электролитических конденсаторов.

Обмотка подмагничивания динамика в качестве дросселя. При наличии в приемнике или усилителе динамического громкоговорителя с подмагничиванием часто используют его обмотку подмагничивания в качестве дросселя сглаживающего фильтра. В этом случае она должна быть намотана из провода, допускающего пропускание через нее тока $I_в$, а сопротивление ее не должно превышать величины, определяемой по формуле (28).

3. РЕОСТАТНО-ЕМКОСТНЫЙ ФИЛЬТР

Действие фильтра. Вместо дросселя $L_ф$ в сглаживающем фильтре может быть применено активное сопротивление $R_ф$ (фиг. 31). Фильтр по такой схеме носит название **р е о с т а т н о - е м к о с т н о г о ф и л ь т р а**. Уменьшение пульсаций выпрямленного тока таким фильтром может быть кратко объяснено следующим образом. В момент зарядки конденсатора $C_в$ за счет импульса тока, проходящего через кенотрон, напряжение на этом конденсаторе, как известно, повышается. Соответственно этому усиливается ток через сопротивление $R_ф$, падение напряжения на нем увеличивается и в результате напряжение на конденсаторе $C_ф$ возрастает на меньшую величину, чем напряжение на $C_в$. В то же время часть дополнительной энергии, прошедшей через сопротивление $R_ф$, расходуется на подзарядку $C_ф$. В результате совместного действия $R_ф$ и $C_ф$ пульсации напряжения на нагрузке получаются меньше, чем на входе фильтра.



Фиг. 31. Схема однозвенного реостатно-емкостного сглаживающего фильтра.

Расчет. Коэффициент сглаживания реостатно-дроссельного фильтра по схеме фиг. 31 при однополупериодном выпрямлении переменного тока с частотой 50 *гц* вычисляется по формуле

$$ф = \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф} = \frac{314 \cdot R_ф \cdot C_ф}{10^6} + 1 \qquad (34)$$

и для двухполупериодного выпрямления по формуле:

$$ф = \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф} = \frac{628 \cdot R_ф \cdot C_ф}{10^6} + 1. \qquad (35)$$

Как видно из последних двух формул, коэффициент сглаживания реостатно-емкостного фильтра получается тем больше, чем больше емкость $C_ф$ и сопротивление $R_ф$. Однако с увеличением $R_ф$ возрастает падение на нем постоянной слагающей напряжения и соответственно уменьшается постоянная слагающая $U_ф$ по сравнению с постоянной слагающей $U_в$. Очевидно также, что падение напряжения на $R_ф$ будет тем больше и $U_ф$ будет тем ниже, чем больше будет $I_в$. Все это заставляет ограничивать величину $R_ф$. Поэтому в реостатно-емкостных фильтрах для обеспечения необходимого сглаживания приходится, как правило, применять конденсаторы $C_ф$ с бо́льшими емкостями, чем в дроссельно-емкостных фильтрах.

Расчет емкостно-реостатного фильтра осуществляется в следующем порядке. Задаваясь $U_в$, $p_в$, $U_ф$, $p_ф$ и $I_в$, вычисляется необходимая величина $R_ф$ по той же формуле (28), по которой вычислялось максимально-допустимое сопротивление обмотки дросселя для дроссельно-емкостного

фильтра. После этого определяют емкость конденсатора $C_ф$ при однополупериодном выпрямлении по формуле:

$$C_ф = \frac{3200}{R_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф} \qquad (36)$$

и при двухполупериодном выпрямлении по формуле:

$$C_ф = \frac{1600}{R_ф} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_ф \cdot p_ф}. \qquad (37)$$

Условием достаточной точности вычисления по формулам (34), (35), (36) и (37) является такой выбор элементов фильтра, чтобы емкостное сопротивление конденсатора $C_в$ для основной частоты пульсации было бы значительно меньше $R_ф$, а емкостное сопротивление конденсатора $C_ф$ было бы значительно меньше отношения $U_ф:I_в$. Выполняемость этих условий может быть проверена в случае однополупериодного выпрямления по формулам

$$\frac{3\,200}{C_в} \ll R_ф; \quad \frac{3,2}{C_ф} \ll \frac{U_ф}{I_в} \qquad (38)$$

и в случае двухполупериодного выпрямления по формулам

$$\frac{1\,600}{C_в} \ll R_ф; \quad \frac{1,6}{C_ф} \ll \frac{U_ф}{I_в}, \qquad (39)$$

где $C_в$ и $C_ф$ в *мкф*, $R_ф$ в *ом*, $U_ф$ в *в* и $I_в$ в *ма*.

Если эти неравенства не выполняются, фактический коэффициент фильтрации реостатно-емкостного фильтра будет меньше вычисленного по приведенным выше формулам и емкость конденсатора $C_ф$ придется увеличить.

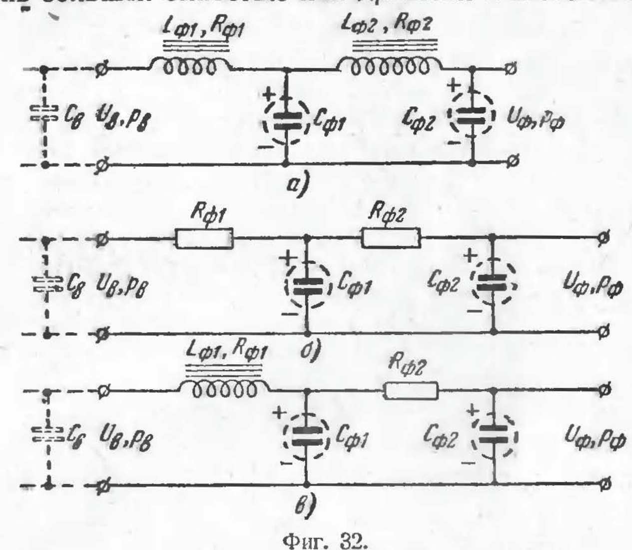
Сопротивление $R_ф$ может быть применено непроволочное. Выбор его по номинальной рассеиваемой мощности P_R в ваттах следует производить путем расчета по формуле

$$P_R = \frac{I_в^2 \cdot R_ф}{10^6}, \qquad (40)$$

где $I_в$ в *ма* и $R_ф$ в *ом*.

4. МНОГОЯЧЕЕЧНЫЕ ФИЛЬТРЫ

В ряде случаев для получения на выходе фильтра напряжения с пульсациями, допустимыми для питания каскадов предварительного усиления, расчеты указывают на необходимость применения в дроссельно-емкостном, а тем более в реостатно-емкостном фильтре, конденсатора $C_ф$ с очень большой емкостью или дросселя с настолько большой индуктивностью, что приходится ставить в фильтр два последовательно соединенных дросселя (так как один дроссель с необходимой индуктивностью получается очень больших размеров).



Фиг. 32.

а — схема двухъячеечного дроссельно-емкостного сглаживающего фильтра; *б* — схема двухъячеечного реостатно-емкостного сглаживающего фильтра; *в* — схема сглаживающего фильтра с одной дроссельно-емкостной и одной реостатно-емкостной ячейкой.

В таких случаях экономически выгоднее и технически целесообразнее применять **многозвенный сглаживающий фильтр**. Последний представляет собой по существу два, три или даже большее число дроссельно-емкостных или реостатно-емкостных фильтров, соединенных последовательно. Такие фильтры называют также **многоячеечными**.

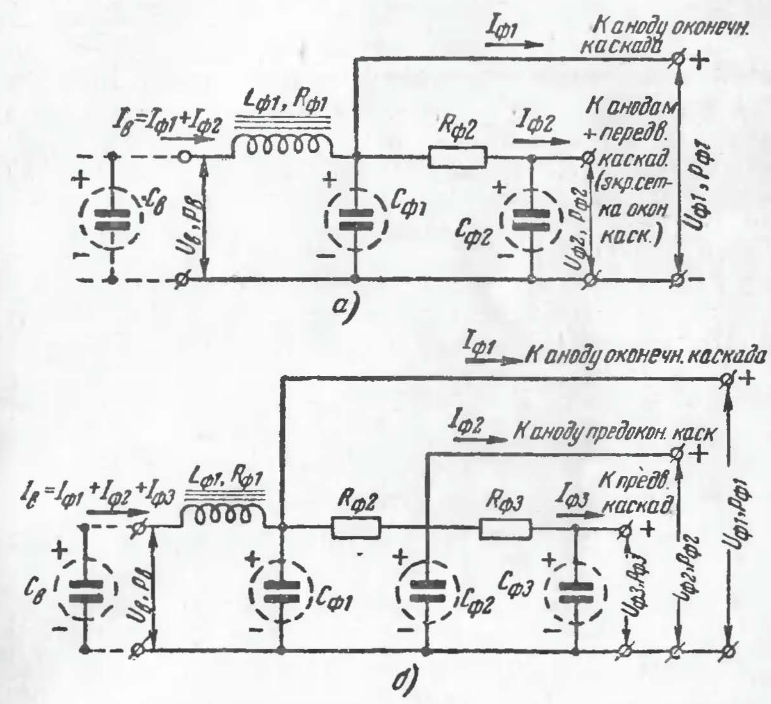
На фиг. 32 показаны возможные варианты схем **двухзвенных** (двухъячеечных) сглаживающих фильтров. Кон-

денсатор $C_{ф1}$ вместе с дросселем $L_{ф1}$ или сопротивлением $R_{ф1}$ образует первое звено (первую ячейку) фильтра, а конденсатор $C_{ф2}$ с дросселем $L_{ф2}$ или сопротивлением $R_{ф2}$ — его второе звено (вторую ячейку). Выпрямленный ток проходит последовательно через дроссели или сопротивления обоих звеньев. В результате, пульсация напряжения на $C_{ф1}$ получается меньше, чем на $C_{в}$, а на $C_{ф2}$ меньше, чем на $C_{ф1}$. Общий коэффициент сглаживания многозвенного фильтра равен произведению коэффициентов сглаживания отдельных составляющих его звеньев, которые могут быть вычислены по формулам (25), (26), (34) или (35) в зависимости от типа ячеек (с дросселями или сопротивлениями) и системы выпрямителя (однополупериодный или двухполупериодный).

При расчете многозвенных фильтров необходимо также проверять, чтобы емкостное сопротивление выходного конденсатора было бы значительно меньше отношения напряжения на этом конденсаторе к току $I_{в}$; при расчете реостатно-емкостных ячеек необходимо также убедиться в том, что активное сопротивление, входящее в эту ячейку, значительно больше емкостного сопротивления конденсатора, находящегося на входе этой ячейки (конденсатора $C_{в}$ по отношению к сопротивлению $R_{ф1}$, конденсатора $C_{ф1}$ по отношению к сопротивлению $R_{ф2}$ и т. д.).

Применение многоячеечных сглаживающих фильтров является весьма целесообразным при питании от выпрямителей многокаскадных радиоприемников и усилителей. Как указывалось выше (см. табл. 2), оконечные каскады такой радиоаппаратуры допускают питание напряжения со значительно бóльшими пульсациями, чем ее предварительные каскады усиления. В то же время оконечные каскады потребляют большую часть тока $I_{в}$, отдаваемого выпрямителем. Поэтому часто на оконечный каскад подают напряжение с конденсатора $C_{ф1}$ первой ячейки фильтра (фиг. 33), обеспечивая с ее помощью достаточное сглаживание пульсаций для работы последнего каскада, а на каскады предварительного усиления подают напряжение, сглаженное еще одной-двумя ячейками, снижающими пульсации до величин, необходимых для этих каскадов. Очевидно, что при этом только дроссель $L_{ф1}$ должен быть рассчитан на пол-

ную силу тока, потребляемую цепями анодов, и экранирующих сеток всех каскадов. Вследствие же того, что необходимая в этой ячейке индуктивность $L_{ф1}$ относительно невелика, этот дроссель будет иметь меньшее число витков



Фиг. 33. Схемы питания многокаскадного усилителя или приемника от выпрямителя с многоячеечным сглаживающим фильтром.

и меньшие размеры, чем в случае, если бы мы с помощью одной ячейки сглаживали бы пульсации до величины, необходимой для предварительных каскадов, и подавали бы на все каскады общее напряжение с такой пульсацией. Через сопротивления и дроссели последующих ячеек сглаживающего фильтра проходит лишь незначительная часть тока, отдаваемого выпрямителем, так как каскады предварительного усиления, как правило, потребляют в своих анодных цепях значительно меньший ток, чем оконечный каскад. Следует также отметить, что при работе в оконечном каскаде пентода или лучевого тетрода рационально

подавать напряжение с конденсатора первой ячейки фильтра только на питание анодов этих ламп, а на их экранирующие сетки подавать напряжение с конденсатора второй ячейки фильтра. При этом можно допустить несколько бо́льшую пульсацию анодного напряжения оконечного каскада.

Так как на аноды ламп предварительных каскадов усиления и на экранирующие сетки идут относительно небольшие токи, а напряжения на них обычно можно подавать меньшей величины, чем на аноды ламп оконечных каскадов, то вторые и последующие ячейки фильтра могут быть применены реостатно-емкостного типа; применение дросселей в этих ячейках, как правило, нерационально, так как оно удорожает и усложняет конструкцию фильтра, не давая в этих случаях преимуществ.

Метод расчета многоячеечного фильтра покажем на примере.

Пример 8. Для питания усилителя низкой частоты рассчитать двухъячеечный фильтр к двухполупериодному выпрямителю с данными, полученными в примере 4 (напряжение на входе фильтра $U_в = 310$ *в* при $p_в = 7\%$, ток, отдаваемый выпрямителем $I_в = 60$ *ма*). Необходимо подать после первой ячейки фильтра на анод лучевого пентода 6П3 оконечного каскада напряжение, $U_{ф1} = 300$ *в* при токе $I_{ф1} = 51$ *ма* и пульсации $p_{ф1} = 0{,}3\%$, а на питание его экранирующей сетки и анодов ламп каскадов предварительного усилителя напряжение $U_{ф2} = 200$ *в* при токе $I_{ф2} = 9$ *ма* и пульсации $p_{ф2} = 0{,}01\%$.

Принимаем решение применить в первой ячейке фильтра дроссель $L_{ф1}$, а во второй ячейке фильтра активное сопротивление $R_{ф2}$ (фиг. 33,*а*). Определяем с помощью формулы (28) максимально допустимое сопротивление обмотки дросселя:

$$R_{ф1} = \frac{1\,000 \cdot (U_в - U_{ф1})}{I_в} = \frac{1\,000 \cdot (310 - 300)}{60} = 166 \text{ ом.}$$

Предполагая применить в первой ячейке фильтра конденсатор $C_{ф1}$ с такой же емкостью, как $C_в$, т. е. 8 *мкф*, определяем по формуле (33) индуктивность дросселя:

$$L_{ф1} = \frac{2{,}5}{C_{ф1}} \cdot \frac{U_в \cdot p_в}{U_{ф1} \cdot p_{ф1}} = \frac{2{,}5}{8} \cdot \frac{310 \cdot 7}{300 \cdot 0{,}3} = 7{,}5 \text{ гн.}$$

Если встретятся затруднения в конструктивном выполнении дросселя с $L_{ф1} = 7{,}5$ *гн* при $R_{ф1} = 166$ *ом* (дроссель будет с относительно большими габаритами), можно задаться большей емкостью $C_{ф1}$.

Величину $R_{ф2}$ вычисляем по формуле

$$R_{ф2} = \frac{1\,000\,(300 - 200)}{9} = 11\,000 \text{ ом}$$

Проверяем допустимость применения сопротивления такой величины по формуле (38):

$$\frac{1\,600}{8} \ll 10\,000.$$

Последнее неравенство соблюдается.

На $R_{ф2}$ будет рассеиваться мощность

$$P_R = \frac{9^2 \cdot 10\,000}{10^6} \approx 1 \text{ вт,}$$

т. е. нужно применять одноваттное сопротивление.

Пользуясь формулой (37), вычисляем необходимую емкость $C_{ф2}$

$$C_{ф2} = \frac{1\,600}{10\,000} \cdot \frac{300 \cdot 0{,}3}{200 \cdot 0{,}01} = 7{,}2 \text{ мкф.}$$

Применяя конденсатор $C_{ф2}$ с ближайшей большей типовой емкостью в 8 *мкф*, получаем пульсации напряжения, питающего экранную сетку оконечного каскада и аноды ламп каскадов предварительного усиления, меньшие, чем задано по расчету.

Проверяем достаточность величины емкости $C_{ф2}$ по формуле (39):

$$\frac{1{,}6}{8} \ll \frac{200}{9}.$$

Последнее неравенство соблюдается, следовательно расчет можно признать достаточно точным.

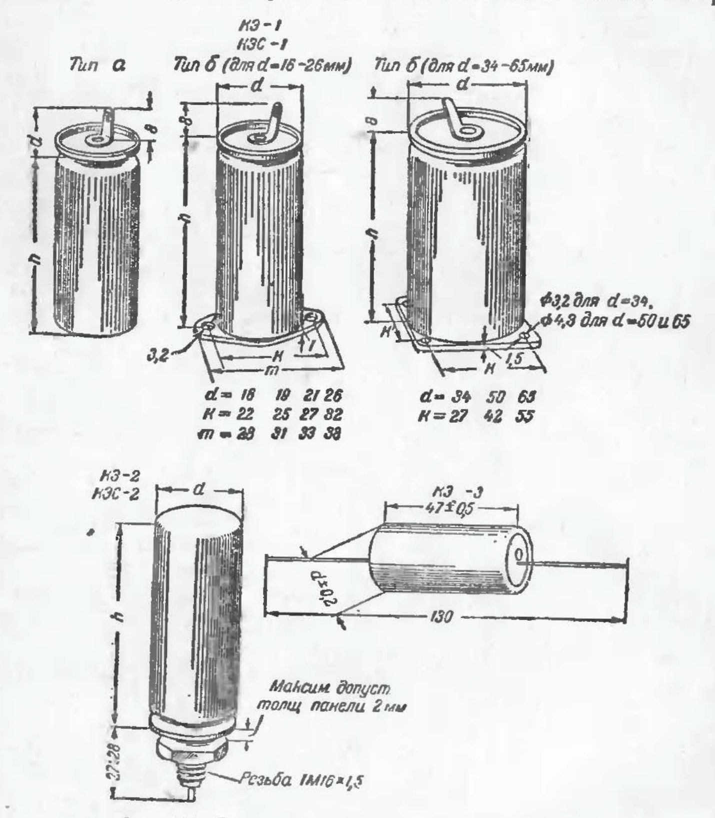
5. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

В фильтрах выпрямителей для питания приемников и усилителей, когда выпрямленные напряжения не превышают 500 *в*, чаще всего применяются электролитические конденсаторы сухого типа.

Устройство электролитических конденсаторов. Электролитический конденсатор состоит из двух тонких алюминиевых лент. Поверхность одной из лент оксидирована. Между алюминиевыми лентами проложена бумажная лента, пропитанная специальным электролитом. Эта трехслойная полоса скатывается в рулон и помещается в алюминиевый сосуд, наполненный сгущенным электролитом. Диэлектриком электролитического конденсатора является тонкий слой оксида на поверхности алюминиевой ленты. Одной обклад-

кой является эта лента, а второй обкладкой — пропитанная электролитом бумага. С помощью неоксидированной ленты осуществляется соединение внешней цепи с пропитанной бумагой.

Для того, чтобы слой оксида на поверхности алюминиевой ленты был диэлектриком, положительный полюс напря-



Фиг. 34. Электролитические конденсаторы.

жения должен быть приложен обязательно к алюминиевой ленте. При обратном включении конденсатора слой оксида теряет свои диэлектрические свойства, приобретает свойства проводника и конденсатор создает короткое замыкание в схеме. По той же причине электролитические конденсаторы не могут работать в цепях переменного тока.

Отечественные типы электролитических конденсаторов. Для широковещательной аппаратуры выпускаются электролитические конденсаторы типов КЭС и КЭ (фиг. 34), основные данные которых приведены на 3-й странице обложки.

Емкости электролитических конденсаторов фактически могут быть меньше номинальных, указанных в таблицах и обозначенных на их корпусах до 20% или больше на 50%.

У всех конденсаторов типов КЭС-1, КЭС-2, КЭ-1 и КЭ-2 отрицательные полюсы соединены с их алюминиевыми корпусами, а положительные полюсы (оксидированные ленты) выведены к контактным лепесткам.

Для электролитических конденсаторов указанных типов допустимо охлаждение до —40° С, за исключением конденсаторов типа КЭС, рабочая температура которых не должна быть ниже —10° С. Максимальная рабочая температура для всех типов конденсаторов составляет +60° С. От изменений температуры фактическая емкость конденсаторов изменяется. При минимальной для данного типа рабочей температуре емкость может уменьшаться до 50%, а при максимальной рабочей температуре может возрасти до 30% по сравнению с емкостью при температуре 15—25° С. Одновременно с ростом емкости значительно увеличивается и ток утечки конденсатора.

Электролитические конденсаторы всех указанных типов могут монтироваться в любом положении. Конденсаторы КЭ-3 не допускается крепить при монтаже за контактные выводы.

ПИТАНИЕ НАКАЛА

1. ПИТАНИЕ НАКАЛА ОТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

При наличии в схеме выпрямителя трансформатора или автотрансформатора питание нитей накала приемно-усилительных ламп производится от специальной обмотки. Такие обмотки показаны на схемах фиг. 7, 8, 10, 23, 25. Нити накала (подогреватели) всех ламп приемника или усилителя, включая лампочки освещения шкалы, при этом соединяются параллельно. Один из концов обмотки, как правило, заземляется, что способствует ослаблению фона, создаваемого за счет питания нитей накала переменным током.

В тех случаях, когда в приемнике или усилителе приходится применять лампы с различными напряжениями нака-

ла, на трансформаторе могут быть намотаны две или большее число обмоток, дающих соответствующие напряжения, либо применена общая обмотка, рассчитанная на наибольшее напряжение накала и имеющая отводы.

2. ПИТАНИЕ НАКАЛА В БЕСТРАНСФОРМАТОРНЫХ СХЕМАХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

При питании приемника или усилителя от бестрансформаторного выпрямителя обычно применяется последовательное включение нитей накала (подогревателей) всех ламп, работающих в схеме, как показано на схемах фиг. 1, 16, 19. Если выпрямление осуществляется с помощью кенотрона, подогреватель последнего также включается последовательно в общую цепь накала. При этом необходимо, чтобы нити накала всех приемно-усилительных ламп и кенотрона имели бы одинаковые токи накала. Так, например, при применении в схеме 6,3-вольтовых ламп, имеющих в большинстве случаев ток накала 300 *ма*, в ее оконечном каскаде возможно применение только лучевого тетрода 30П1М, также имеющего ток накала 300 *ма*; для выпрямления переменного тока в этих случаях, как уже указывалось выше, применяются кенотроны типов 30Ц1М и 30Ц6С с током накала 300 *ма*. Вся цепь из последовательно соединенных нитей накала включается непосредственно в сеть переменного тока. Так как сумма напряжений накала всех ламп обычно бывает меньше напряжения сети, в эту же цепь включают еще последовательно сопротивление $R_н$, поглощающее излишек напряжения. Величина этого сопротивления рассчитывается по формуле

$$R_н = \frac{1\,000 \cdot [U_c - (U_{н1} + U_{н2} + U_{н3} \ldots)]}{I_н}, \qquad (41)$$

где U_c — напряжение сети, *в*;
$U_{н1}$, $U_{н2}$, $U_{н3}$ — напряжения накала ламп и кенотрона, *в*;
$I_н$ — ток накала, *ма*.

Следует отметить, что порядок включения нитей накала приемно-усилительных ламп различных каскадов не может быть произвольным. Из соображений получения наименьшего фона переменного тока в громкоговорителе, нить накала лампы первого каскада усиления низкой частоты всегда следует соединять одним концом с минусом выпрямленного напряжения. Второй конец нити накала лампы первого каскада усиления низкой частоты супергетеродинного радиоприемника следует соединять с нитью накала лампы преобразователя частоты. Нить накала лампы оконечного каскада должна быть включена в цепь возможно ближе к нити накала кенотрона. Последние указанные две нити накала могут быть разделены между собой лампочками освещения шкалы приемника, добавочным сопротивлением и т. п. Порядок последовательного включения в цепь накала нити кенотрона и добавочного сопротивления может быть принят любым, из соображений удобства монтажа.

В качестве сопротивления $R_н$ можно применять остеклованное сопротивление или самодельное проволочное сопротивление. При токе $I_н = 300$ *ма* последнее должно быть выполнено из никелина, манганина, нихрома или иной проволоки с высоким сопротивлением при диаметре не менее $0{,}3 \div 0{,}4$ *мм*, намотанной на трубку, цилиндр или пластинку из фарфора, мрамора, шифера или иного огнестойкого материала. Общая поверхность каркаса для сопротивления в квадратных сантиметрах должна быть по крайней мере в $5 \div 7$ раз больше численной величины рассеиваемой на нем мощности в ваттах. Для лучшей теплоотдачи сопротивление рекомендуется устанавливать в вертикальном положении.

Пример 9. Рассчитать сопротивление $R_н$ для цепи накала усилителя низкой частоты к граммофонному проигрывателю, в предварительном каскаде которого работает лампа 6Ж7, а в оконечном лампа 30П1М, причем питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 *в* с применением в выпрямителе кенотрона 30Ц1М.

Подставляя в формулу (41) напряжение сети $U_c = 220$ *в*, напряжение накала лампы 6Ж7 $U_{н1} = 6{,}3$ *в*, лампы 30П1М $U_{н2} = 30$ *в*, лампы 30Ц1М $U_{н3} = 30$ *в* и ток накала $I_н = 300$ *ма*, получаем:

$$R_н = \frac{1\,000\,[220 - (6{,}3 + 30 + 30)]}{300} = 510 \text{ ом}.$$

На этом сопротивлении будет рассеиваться мощность

$$P = \frac{I_н^2 \cdot R_н}{10^6} = \frac{300^2 \cdot 510}{10^6} = 46 \text{ вт}.$$

Поверхность каркаса для этого сопротивления должна быть в 5—7 раз больше полученного последнего числа, т. е. равна 230—320 *см²*.

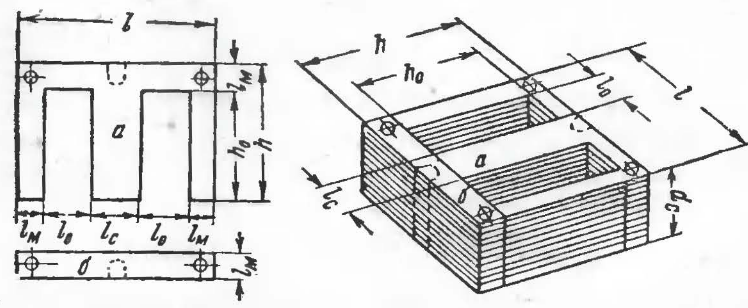
Необходимо отметить, что в схемах с последовательным соединением нитей накала приемно-усилительных ламп

и кенотрона недопустимо соединять катоды ламп с их нитями накала. Катоды приемно-усилительных ламп в таких схемах должны соединяться с минусом выпрямленного напряжения непосредственно, если их управляющие сетки не требуют отрицательного смещения, или через сопротивление катодного смещения, когда для нормальной работы лампы требуется отрицательное смещение на управляющую сетку. Для подачи напряжения смещения на сетки ламп каскадов предварительного усиления лучше всего использовать то же сопротивление, с которого подается смещение на сетку ламп оконечного каскада. В последнем случае сопротивление смещения оконечного каскада должно иметь отводы, так как на сетки ламп предварительных каскадов всегда требуется меньшее смещение, чем на сетку лампы оконечного каскада.

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ, АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ И ДРОССЕЛИ ФИЛЬТРОВ

1. КОНСТРУКЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ, АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ И ДРОССЕЛЕЙ

Типы пластин для сердечников. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и дроссели фильтров в выпрямителях для питания широковещательных приемников и усилителей, применяемых в радиолюбительской практике, как правило, выполняются на сердечниках из Ш-образных пластин и перемычек (фиг. 35), изготовленных из листов специальной электротехнической трансформаторной стали толщиной 0,35—0,5 *мм*. Такие сердечники называются броневыми или Ш-образными. В табл. 3 приведены размеры Ш-образных пластин и перемычек.

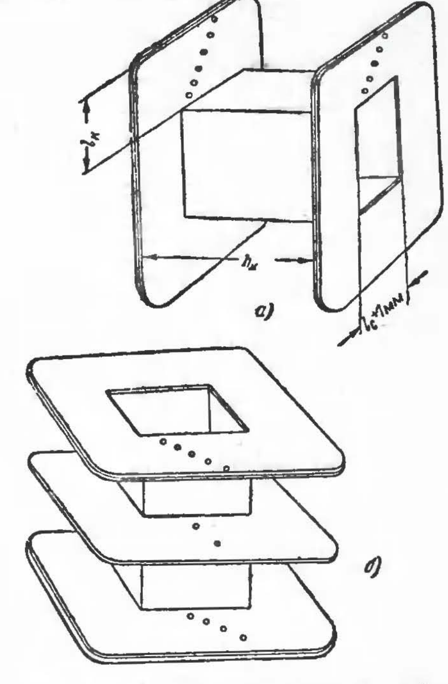


Фиг. 35. Ш-образные пластины с отверстиями, прямоугольные перемычки к ним и сборка из них сердечника. Пунктиром показаны пазы, заменяющие отверстия в некоторых пластинах.

Наименование пластины состоит из буквы Ш, указывающей ее форму, и числа, обозначающего ширину среднего выступа в *мм*.

Пластины типов Ш-19 и Ш-20 применяются для сборки сердечников трансформаторов мощностью не свыше 25—30 *вт*. Для сборки сердечников трансформаторов мощностью от 30 до 100 *вт* можно брать пластины типов Ш-25, Ш-28 или Ш-30. Трансформаторы мощностью 100—200 *вт* выполняются с пластинами Ш-30 и большего размера.

Сердечники дросселей сглаживающих фильтров для радиолюбительской аппаратуры чаще всего собираются из пластин типов Ш-16, Ш-18, Ш-19 и Ш-20. В отдельных случаях, когда нужно получить малую пульсацию при больших токах, применяются в дросселях сглаживающих фильтров пластины Ш-25 или Ш-30, однако такие дроссели получаются весьма громоздкими. В этих случаях экономически выгоднее и технически целесообразнее бывает изготовление одного-двух дросселей меньшего размера и увеличение числа ячеек сглаживающего фильтра.



Фиг. 36. Каркасы для намотки трансформаторов и дросселей.

Каркасы для обмоток. Каркасы для обмоток трансформаторов, автотрансформаторов и дросселей изготовляются из плотного картона, гетинакса или иного листового изоляционного материала (фиг. 36). Толщина стенок трубки кар-

Таблица 3

ТИПОВЫЕ Ш-ОБРАЗНЫЕ СЕРДЕЧНИКИ ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ДРОССЕЛЕЙ

№ по пор.	Тип сердечника	Ширина среднего выступа l_c, мм	Окно: Ширина l_o, мм	Окно: Высота h_o, мм	Окно: Площадь $Q_o = l_o h_o$, см²	Эффективная средняя длина магнитной силовой линии $l_м$, см	Типовые пакеты: Толщина d_c, мм	Типовые пакеты: Сечение сердечника $Q_c = l_c d_c$, см²	Типовые пакеты: Чистое сечение стали Q'_c, см²	Типовые пакеты: Объем стали в сердечнике V_c, см³	Средняя длина витка обмотки $l_в$, см	Ширина боковых выступов и перемычки $l_б$, мм	Общие размеры: Ширина (для на перемычки) l, мм	Общие размеры: Высота h, мм	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Ш-15	15	13,5	27	3,64	8,35	19	2,85	2,42	38,8	10,97	11	64	49	С отверстиями
		15	13,5	27	3,64	8,35	30	4,50	3,82	61,3	13,22	11	64	49	То же
2	Ш-16	16	8	24	1,92	9,7	16	2,56	2,25	21,5	8,85	8	48	40	Без отверстий
3	Ш-18	18	9	27	2,43	10,9	18	3,24	2,85	31,0	10,0	9	54	45	То же
4	Ш-19	19	17	46	7,81	14,3	19	3,62	3,07	57,1	12,95	11	75	68	С отверстиями
		19	17	46	7,81	14,3	27	5,12	4,36	81,5	14,55	11	75	68	То же
5	Ш-19	19	17	56	9,52	16,3	19	3,62	3,07	62,0	12,95	11	75	78	» »
6	Ш-20	20	18	30	5,40	10,86	30	6,00	5,10	89,5	15,65	13	82	56	» »
7	Ш-20	20	18	56	10,07	15,46	30	6,00	5,10	120,0	15,65	13	82	82	» »
8	Ш-20	20	10	30	3,00	12,1	20	4,0	3,6	43,0	11,14	10	60	50	Без отверстий
9	Ш-20	20	17	46	7,81	16,2	20	4,0	3,6	60,0	13,35	11	75	68	С отверстиями
							30	6,0	5,4	90,0	15,35	11	75	68	С отверстиями
10	Ш-21	21	19	38	7,22	11,8	27	5,68	4,93	119,8	15,72	16	91	70	То же
		21	19	38	7,22	11,8	43	9,03	7,85	181,5	18,95	16	91	70	» »
11	Ш-25	25	31,5	58	18,2	23,0	25	6,25	5,4	152,0	19,9	16	120	90	» »
12	Ш-25	25	25	60	15,0	18,75	25	6,25	5,4	137,0	17,85	15	105	90	» »
							35	8,75	7,44	192,0	19,85	15	105	90	» »
							40	10,0	8,50	219,0	20,85	15	105	90	» »
							50	12,5	10,63	274,0	22,85	15	105	90	» »
							65	16,2	13,81	356,6	25,85	15	105	90	» »
13	Ш-28	28	14	42	5,88	17,0	28	7,84	6,9	116,2	15,6	14	84	70	С отверстиями или пазами
14	Ш-28	28	23,5	50	11,7	19,6	40	11,2	10,0	206,0	21,0	15	105	80	С отверстиями
15	Ш-30	30	15	45	6,75	18,2	30	9,00	7,9	142,0	16,7	15	90	75	С отверстиями или пазами
16	Ш-30	30	27	54	14,6	16,7	38	11,4	9,7	282,0	21,95	20	124	94	С отверстиями
							60	18,0	15,3	446,0	26,45	20	124	94	То же
17	Ш-32	32	16	48	7,68	19,4	32	10,24	9,0	173,0	17,8	16	96	80	С отверстиями или пазами
18	Ш-32	32	36	72	25,9	28,4	35	11,20	10,0	295,0	24,7	18	140	108	С отверстиями
19	Ш-36	36	18	54	9,72	21,9	36	12,96	11,5	280,0	20,1	18	108	90	С отверстиями или пазами

каса обычно берется равной 1 *мм*, а щечки делаются толщиной не более 1—2 *мм*. При напряжениях вторичной обмотки силового трансформатора свыше 400—500 *в* рекомендуется каркас делать секционированным (фиг. 36,*б*), распределяя обмотки по секциям.

Каркасы автотрансформаторов и дросселей не секционируются.

Длина каркаса должна быть примерно на 1 *мм* меньше высоты окна сердечника h_0, а высота его щечек $l_к$ на 1 *мм* меньше ширины окна l_0. Ширина окна каркаса должна быть примерно на 1 *мм* больше ширины $l_с$ среднего выступа Ш-образной пластины. Высоту окна каркаса следует брать на 1,5 —2 *мм* больше толщины $d_с$ набора пластин сердечника, иначе при сборке трудно будет вложить в окно каркаса все необходимое количество пластин.

Изготовленный каркас рекомендуется покрыть изоляционным лаком.

Намотка трансформаторов и дросселей. Первичная обмотка трансформатора, как правило, наматывается первой. Поверх нее наматывается повышающая обмотка и, наконец, обмотки накала кенотрона и ламп. Между обмотками следует прокладывать по 2—3 слоя тонкого полотна, пропитанного изоляционным лаком. Полотно может быть заменено плотной, но не толстой, пропитанной изоляционным веществом (парафином, изоляционным лаком), бумагой. Края этих прокладок должны плотно прилегать к щечкам каркаса, не допуская проваливания витков верхних обмоток в пространство, занятое нижними обмотками. Между слоями одной и той же обмотки, особенно, если она наматывается проводом в эмалевой изоляции, рекомендуется прокладывать по одному слою папиросной пропарафинированной бумаги.

На секционированном каркасе в каждую из секций укладывается сначала по половине витков первичной обмотки. После этого в одну секцию наматывается половина вторичной повышающей обмотки, каркас перевертывается и в другую секцию наматывается другая половина вторичной обмотки. После перевертывания каркаса он при намотке должен вращаться в ту же сторону, что и при намотке первой половины обмотки. Обмотку накала кенотрона рекомендуется располагать в одной секции каркаса, а обмотку накала ламп в другой.

Выводы от начала, конца и при необходимости от промежуточных витков первичной и повышающей обмоток делаются гибкими изолированными проводниками с сечением не меньше сечений обмоточных проводов. Выводы обмоток накала обычно делаются тем же проводом.

Сборка сердечников. Сборка сердечников трансформатора, автотрансформатора или дросселя заключается в том, что в окно его каркаса закладываются средние выступы Ш-образных пластин.

Сердечник трансформатора или автотрансформатора собирается вперекрышку, т. е. одни пластины вставляются поочередно в окно каркаса с одной стороны, а следующие — с другой. Концы пластин замыкаются перемычками. Так делают до тех пор, пока все окно каркаса не будет плотно заполнено пластинами.

При сборке дросселя все Ш-образные пластины закладываются в окно каркаса с одной стороны. На концы пакета Ш-образных пластин накладывается бумажная прокладка и поверх нее пакет из перемычек. Соединение и стягивание отдельных частей сердечника, если он собран из пластин, имеющих отверстия, производятся болтиками. Если же пластины сердечника не имеют отверстий, скрепление сердечника осуществляется с помощью металлической обоймы.

Пропитка обмоток трансформаторов и дросселей. Для удлинения срока службы трансформаторов и дросселей и для предохранения их обмоток от пробоя последние после их намотки рекомендуется пропитать изоляционным веществом.

Обмотки можно пропитывать церезином или воском. Защитные свойства последних улучшаются при добавлении к ним канифоли. Часто для пропитки применяют компаунд, состоящий из 70% церезина или воска и 30% канифоли. Температура плавления канифольно-церезинового компаунда около 65° С. В крайнем случае для пропитки может быть применен парафин.

Процесс пропитки заключается в следующем. Каркас с обмотками просушивается и опускается в расплавленный, но не кипящий, компаунд. Во время пропитки каркас поворачивается. Пропитку можно считать законченной, когда прекратится выделение пузырьков воздуха из катушки. Тогда катушку вынимают из компаунда, дают стечь излишку компаунда и приступают к сборке сердечника.

7*

2. РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Расчет мощности трансформатора. Прежде всего, по напряжению и току вторичной повышающей обмотки U_{II} и I_{II} и напряжениям и токам обмоток накала U_{III}, I_{III}, U_{IV} и I_{IV} определяется мощность трансформатора P_T по формулам:

а) для однополупериодного выпрямителя

$$P_T = 1{,}1 \cdot (1{,}2 U_{II} \cdot I_{II} + U_{III} \cdot I_{III} + U_{IV} \cdot I_{IV}), \quad (42)$$

где величины U_{II} и I_{II} находятся по формулам (8) и (9).

б) для двухполупериодного выпрямителя с трансформатором, имеющим вторичную повышающую обмотку со средней точкой,

$$P_T = 1{,}1 \cdot (1{,}41 U_{II} \cdot I_{II} + U_{III} \cdot I_{III} + U_{IV} \cdot I_{IV}), \quad (43)$$

где величины U_{II} и I_{II} находятся по формулам (11) и (12).

в) для двухполупериодного выпрямителя, выполняемого по мостовой схеме, или для выпрямителя с удвоением напряжения

$$P_T = 1{,}1 \cdot (U_{II} \cdot I_{II} + U_{III} \cdot I_{III} + U_{IV} \cdot I_{IV}), \quad (44)$$

где величины U_{II} и I_{II} находятся по формулам (14), (16), (11) и (20). Мощность трансформатора выражается в ваттах, если напряжения всех обмоток выразить в вольтах, а их токи в амперах.

Расчет сердечника трансформатора. В зависимости от мощности трансформатора выбирают размер пластин для его сердечника, как указано на стр. 83.

Выбрав пластины, по табл. 3 находят размер их окна, т. е. величину $Q_o = l_o \times h_o$. Далее задаются коэффициентом заполнения окна медью $\kappa_м$, т. е. отношением суммарного сечения меди витков всех обмоток к площади окна Q_o. Так как числа витков обмоток пока неизвестны, коэффициент заполнения приходится брать ориентировочно. При мощности трансформатора до 30 *вт* для проводов в эмалевой изоляции можно принять $\kappa_м = 0{,}1 \div 0{,}2$ (при таких малых мощностях трансформаторов применение проводов с шелковой или тем более бумажной изоляцией нерационально, так как при этих проводах трансформаторы получаются большого диаметра). При мощности до 100 *вт* можно задаться $\kappa_м = 0{,}2 \div 0{,}35$ с обмоточными проводами в эмалевой изоляции и $\kappa_м = 0{,}15 \div 0{,}25$ с проводами ПЭШО или ПШД. При мощностях трансформаторов до 200 *вт* следует задаваться $\kappa_м = 0{,}25 \div 0{,}4$ для проводов марки ПЭ и $\kappa_м = 0{,}2 \div 0{,}3$ для проводов в бумажной изоляции. Чем больше U_{II}, тем меньшим $\kappa_м$ следует задаваться[1].

Зная мощность трансформатора P_T, ширину средних выступов пластин l_c, площадь окна Q_o и коэффициент заполнения окна медью $\kappa_м$, определяют необходимую толщину пакета сердечника

$$d_c = \frac{(0{,}48 \div 0{,}58) \cdot P_T}{l_c \cdot Q_o \cdot \kappa_м}. \quad (45)$$

При расчете трансформатора мощностью свыше 50 *вт* в числитель последней формулы следует подставлять коэффициент 0,48; при меньших мощностях коэффициент нужно брать больше, принимая его равным 0,58 для трансформаторов мощностью 20—30 *вт*.

Сечение сердечника трансформатора в *см*² будет:

$$Q_c = l_c \cdot d_c. \quad (46)$$

Расчет первичной обмотки трансформатора. Для обеспечения возможности работы трансформатора от сетей с напряжениями 110, 120 и 220 *в* его первичная обмотка секционируется. Проще всего намотать одну обмотку с отводами. В этом случае до отвода, предназначаемого для включения на напряжение 110 *в*, должно быть намотано количество витков:

$$w_{110} = \frac{5\,300}{Q_c}, \quad (47)$$

при диаметре провода

$$d_{110} = (0{,}07 \div 0{,}09) \cdot \sqrt{P_T}. \quad (48)$$

[1] Заранее нужно иметь в виду, что коэффициент заполнения $\kappa_м$ может быть выбран неточно. Это устанавливается последующим проверочным расчетом заполнения. При неправильном выборе $\kappa_м$ приходится производить перерасчет трансформатора.

До отвода, предназначаемого для включения на напряжение 127 *в*, должно быть намотано из провода того же диаметра число витков

$$w_{127}=\frac{6\,100}{Q_c}. \qquad (49)$$

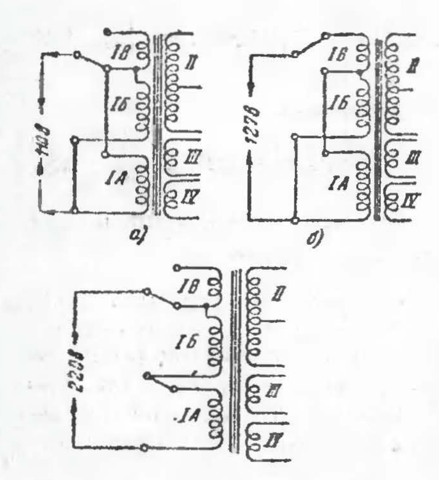
Полное число витков обмотки, включаемое на напряжение 220 *в*, будет

$$w_{220}=\frac{10\,500}{Q_c}. \qquad (50)$$

Начиная от отвода на 127 *в*, обмотка должна наматываться проводом меньшего диаметра

$$d_{220}=(0{,}05\div0{,}06)\cdot\sqrt{P_T}. \qquad (51)$$

Если же первичную обмотку предполагается сделать из трех секций (фиг. 37) и включать при напряжении сети 220 *в* секции *1А* и *1Б* последовательно, при напряжении сети 110 *в* обе эти секции параллельно, а при напряжении сети секции *1А* и *1Б* параллельно между собой и последовательно с секцией *1В*, то числа витков секций *1А* и *1Б* рассчитываются по формуле (47), а диаметр их провода по формуле (51). Число витков секции *1В* определяется по формуле



Фиг. 37. Способ переключения секций первичной обмотки силового трансформатора.

$$w_{1В}=\frac{820}{Q_c}, \qquad (52)$$

а диаметр ее провода по формуле (48).

Ток, потребляемый трансформатором от сети, может быть вычислен по формуле

$$I_c=\frac{P_T}{U_1}, \qquad (53)$$

где P_T в *вт*, I_c в *а*, U_1 в *в*.

Плавкий предохранитель в цепи первичной обмотки силового трансформатора должен быть рассчитан на ток, примерно в 2—3 раза больший, чем ток, нормально потребляемый выпрямителем.

Расчет вторичных обмоток силового трансформатора. Числа витков вторичных обмоток (половины обмотки *II* схемы фиг. 10) вычисляются по формулам

$$w_{II}=\frac{52\cdot U_{II}}{Q_c}; \quad w_{III}=\frac{52\cdot U_{III}}{Q_c}; \quad w_{IV}=\frac{52\cdot U_{IV}}{Q_c}. \qquad (54)$$

Диаметр провода повышающей обмотки

$$d_{II}=(0{,}022\div0{,}027)\cdot\sqrt{I_{II}}, \qquad (55)$$

где I_{II} — сила тока, вычисленная по формулам (9), (12), (10) или (20), *ма*.

Диаметры проводов обмоток накала

$$d_{III}=(0{,}7\div0{,}9)\cdot\sqrt{I_{III}}; \quad d_{IV}=(0{,}7\div0{,}9)\cdot\sqrt{I_{IV}}, \qquad (56)$$

где I_{III} и I_{IV} — токи, идущие на накал кенотронов и приемно-усилительных ламп, *а*.

Меньшие числовые коэффициенты в формулах (48), (51), (55) и (56) для вычисления диаметров проводов обмоток берутся при расчете трансформаторов малой мощности (соответствуют плотности тока около 2,5 *а/мм²*), а бо́льшие коэффициенты, при расчете трансформаторов относительно большой мощности (соответствуют плотностям тока около 1,5 *а/мм²*).

Если полученные по расчету диаметры проводов не соответствуют стандартным, их нужно увеличить до ближайших стандартных величин.

Проверочный расчет размещения обмоток на каркасе. После того, как определены диаметры проводов обмоток, следует произвести проверочный расчет возможности размещения их на каркасе.

Если обмотки будут наматываться слоями (виток к витку) нужно прежде всего определить число витков в слое w' для каждой обмотки; если первичная обмотка будет иметь несколько секций с различными диаметрами проводов, определяются отдельно числа витков в слое для каждой секции

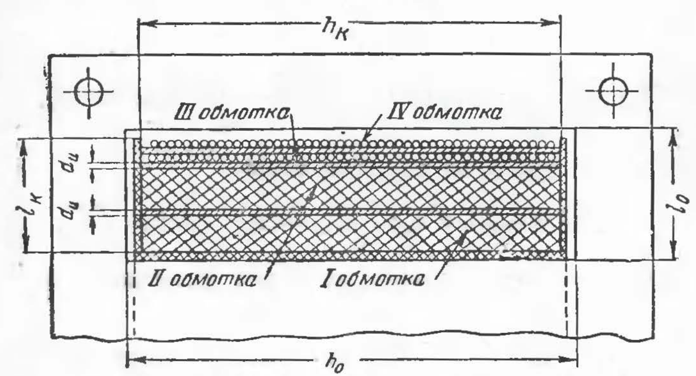
обмотки. Вычисление чисел витков в слое производится по формулам:

$$w'_{1A}=\frac{h_к}{d'_{1A}};\ w'_{1Б}=\frac{h_к}{d'_{1Б}};\ w'_{1В}=\frac{h_к}{d'_{1В}};\ w'_{II}=\frac{h_к}{d'_{II}};\qquad (57)$$

$$w'_{III}=\frac{h_к}{d'_{III}};\ w'_{IV}=\frac{h_к}{d'_{IV}},$$

где w'_{1A}, $w'_{1Б}$, $w'_{1В}$, w'_{II}, w'_{III} и w'_{IV} — числа витков в слое каждой обмотки;

$h_к$ — расстояние между щечками каркаса, *мм* (фиг. 38) ($h_к$ всегда меньше высоты окна h_0);



Фиг. 38. Размещение обмоток на каркасе трансформатора.

d'_{1A}, $d'_{1Б}$, $d'_{1В}$, d'_{II}, d'_{III}, d'_{IV} — диаметры проводов в изоляции соответствующих обмоток.

После этого определяются числа слоев m в каждой обмотке по формулам:

$$m_{1A}=\frac{w_{1A}}{w'_{1A}};\ m_{1Б}=\frac{w_{1Б}}{w'_{1Б}};\ m_{1В}=\frac{w_{1В}}{w'_{1В}};\ m_{II}=\frac{w_{II}}{w'_{II}};$$

$$m_{III}=\frac{w_{III}}{w'_{III}};\ m_{IV}=\frac{w_{IV}}{w'_{IV}}.\qquad (58)$$

Теперь можно проверить достаточность места на каркасе для размещения всех обмоток по формуле:

$$l_к=1{,}25\cdot(m_{1A}\cdot d'_{1A}+m_{1Б}\cdot d'_{1Б}+m_{1В}\cdot d'_{1В}+m_{II}\cdot d'_{II}+$$
$$+m_{III}\cdot d'_{III}+m_{IV}\cdot d'_{IV}+\ldots)+d_и\cdot n+(1\div 2),\qquad (59)$$

где $l_к$ — высота щечек каркаса, *мм*;

сумма членов, заключенных в первые скобки,— толщина намотки всех обмоток, *мм*;

$d_и$ — толщина каждой изоляционной прокладки между обмотками, *мм*;

n — число этих прокладок;

1,25 — множитель, учитывающий неплотность намотки и места, занимаемые прокладками между витками.

При расчете схемы фиг. 10 вместо w_{II} берем $2w_{II}$.

Если окажется, что правая часть формулы (59) больше $l_к$, значит обмотки не разместятся на каркасе, толщину набора сердечника d_c нужно увеличить и вычислить снова числа витков обмоток. Если же проверочный расчет покажет, что в окне сердечника остается не занятое обмотками пространство, нужно произвести повторный расчет для меньшей толщины набора сердечника.

Если намотку трансформатора предполагается производить вразброс, то достаточность места для размещения всех обмоток может быть установлена с помощью формулы:

$$h_к\cdot l_к\geqslant(1{,}5\div 2)\cdot(d'^2_{1A}\cdot w_{1A}+d'^2_{1Б}\cdot w_{1Б}+d'^2_{1В}\cdot w_{1В}+$$
$$+d'^2_{II}\cdot w_{II}+d'^2_{III}\cdot w_{III}+d'_{IV}\cdot w_{IV}+\ldots)+d_и\cdot h_к\cdot n,\qquad (60)$$

где все размеры в *мм*. (При схеме фиг. 10 подставляем $2\,w_{II}$).

При такой намотке необходимо прокладывать слой бумаги через каждые 100—200 витков.

Пример 10. Рассчитать силовой трансформатор к выпрямителю с данными примера 4 (стр. 35): напряжение половины повышающей обмотки $U_{II}=250$ *в*, ток в этой обмотке $I_{II}=72$ *ма* $=0{,}072$ *а*; для накала кенотрона 5Ц4С нужно иметь обмотку, дающую напряжение $U_{III}=5$ *в* при токе $I_{III}=2$ *а*. Кроме того, нужно предусмотреть в трансформаторе обмотку для накала ламп, дающую напряжение $U_{IV}=6{,}3$ *в* при токе $I_{IV}=1{,}9$ *а*. Первичная обмотка трансформатора должна быть рассчитана на включение в сети с напряжениями 110, 127 и 220 *в*.

По формуле (43) определяем мощность трансформатора

$$P_T=1{,}1\cdot(1{,}41\cdot U_{II}\cdot I_{II}+U_{III}\cdot I_{III}+U_{IV}\cdot I_{IV})=$$
$$=1{,}1\cdot(1{,}41\cdot 250\cdot 0{,}072+5\cdot 2+6{,}3\cdot 1{,}9)=53\ вт$$

Выбираем по табл. 3 сердечник из пластин Ш-32 (№ 17), т. е. имеющих ширину среднего выступа $l_c=32$ *мм* $=3{,}2$ *см* и находим, что площадь окна такого сердечника $Q_o=l_o\cdot h_o=7{,}68$ *см*². Предпола-

гая, что обмотки трансформатора будут намотаны проводом в эмалевой изоляции, и учитывая, что окно выбранного сердечника имеет относительно небольшую площадь, задаемся коэффициентом заполнения окна медью $\kappa_м = 0{,}35$.

По формуле (45) вычисляем необходимую толщину пакета сердечника

$$d_c = \frac{0{,}48 \cdot P_T}{l_c \cdot Q_o \cdot \kappa_м} = \frac{0{,}48 \cdot 53}{3{,}2 \cdot 7{,}68 \cdot 0{,}35} \approx 3 \; см = 30 \; мм.$$

Принимаем типовую толщину пакета $d_c = 32$ *мм*.

Сечение такого сердечника в соответствии с табл. 3 $Q_c = 10{,}24$ *см*².

Принимаем решение выполнить первичную обмотку трехсекционной (фиг. 37). Тогда необходимое число витков в 110-вольтовых секциях *IA* и *IБ* может быть вычислено по формуле (47):

$$w_{1A} = w_{1Б} = w_{110} = \frac{5\,300}{Q_c} = \frac{5\,300}{10{,}24} = 515 \text{ витков.}$$

Число витков в секции *IВ* определяем по формуле (52):

$$w_{1B} = w_{17} = \frac{820}{Q_c} = \frac{820}{10{,}24} = 80 \text{ витков.}$$

Диаметр провода в секциях *IA* и *IБ* определяем по формуле (51)

$$d_{1A} = d_{1Б} = 0{,}05 \sqrt{P_T} = 0{,}05 \cdot \sqrt{53} \approx 0{,}35 \; мм$$

и диаметр провода в секции *IВ* по формуле (48)

$$d_{1B} = 0{,}07 \cdot \sqrt{P_T} = 0{,}51 \; мм.$$

Провод ПЭ 0,35 имеет диаметр вместе с изоляцией 0,39 *мм* и провод ПЭ 0,51 имеет вместе с изоляцией диаметр 0,54 *мм*.

Вычисляем число витков в половине повышающей обмотки по формуле (54):

$$w_{II} = \frac{52 \cdot U_{II}}{Q_c} = \frac{52 \cdot 250}{10{,}24} = 1\,270 \text{ витков.}$$

Следовательно, вся повышающая обмотка должна иметь $1\,270 \times 2 = 2\,540$ витков.

Число витков обмотки накала кенотрона вычисляем по той же формуле (54):

$$w_{III} = \frac{52 \cdot U_{III}}{Q_c} = \frac{52 \cdot 5}{10{,}24} = 25{,}5 \text{ витка.}$$

Принимаем 26 витков.

Наконец, число витков обмотки накала приемно-усилительных ламп:

$$w_{IV} = \frac{52 \cdot U_{IV}}{Q_c} = \frac{52 \cdot 6{,}3}{10{,}24} = 32 \text{ витка.}$$

Диаметр провода повышающей обмотки определяем по формуле (55):

$$d_{II} = 0{,}022 \cdot \sqrt{72} = 0{,}19 \; мм.$$

Принимаем $d_{II} = 0{,}2$ *мм*; диаметр такого провода в эмалевой изоляции будет $d'_{..} = 0{,}23$ *мм*.

Диаметр проводов обмоток накала вычисляем по формуле (56):

$$d_{III} = 0{,}7 \cdot \sqrt{I_{III}} = 0{,}7 \cdot \sqrt{2} = 0{,}99 \; мм,$$

$$d_{IV} = 0{,}7 \cdot \sqrt{I_{IV}} = 0{,}7 \cdot \sqrt{1{,}9} \approx 0{,}97 \; мм.$$

Для обеих обмоток накала выбираем провод диаметром 1 *мм*, его диаметр в изоляции будет 1,05 *мм*.

Проверяем возможность размещения обмоток на каркасе. Так как окно выбранного сердечника имеет размеры $l_o = 16$ *мм* и $h_o = 48$ *мм*, то, принимая толщину стенок каркаса по 1 *мм*, мы будем иметь внутренние размеры каркаса $l_к = 15$ *мм* и $h_к = 46$ *мм*.

По формуле (57) определяем числа витков в одном слое каждой обмотки:

$$w'_{1A} = \frac{h_к}{d'_{1A}} = \frac{46}{0{,}39} = 118 \text{ витков;} \quad w'_{1Б} = \frac{46}{0{,}39} = 118 \text{ витков;}$$

$$w'_{1B} = \frac{h_к}{d'_{1B}} = \frac{46}{0{,}54} = 85 \text{ витков;} \quad w'_{II} = \frac{46}{0{,}23} = 200 \text{ витков;}$$

$$w'_{III} = \frac{h_к}{d'_{III}} = \frac{46}{1{,}05} = 43 \text{ витка;} \quad w'_{IV} = \frac{h_к}{d_{IV}} = \frac{46}{1{,}05} = 43 \text{ витка.}$$

Из проделанного расчета видно, что секция *IВ* первичной обмотки уложится в один слой, так как $w_{1B} = 80$ витков $< w'_{1B} = 85$ витков; точно также в один слой уложится обмотка накала кенотрона и в один слой уложится обмотка накала приемно-усилительных ламп, так как $w_{III} = 26$ витков $< w'_{III} = 43$ витка и $w_{IV} = 32$ витка $< w'_{IV} = 43$ витка. По формуле (58) нужно вычислить только числа слоев m_{1A} и $m_{1Б}$ в секциях *IA* и *IБ* первичной обмотки и число слоев m_{II} повышающей обмотки:

$$m_{1A} = \frac{w_{1A}}{w'_{1A}} = \frac{515}{118} < 4{,}5 \text{ слоев,} \quad m_{1Б} = \frac{w_{1Б}}{w'_{1Б}} = \frac{515}{118} < 4{,}5 \text{ слоев.}$$

Следовательно, секции *IA* и *IБ* вместе уложатся в $4{,}5 + 4{,}5 = 9$ слоев.

$$m_{II} = \frac{2\,540}{200} < 13 \text{ слоев.}$$

При намотке придется сделать изоляционные прокладки между обмотками в количестве $n = 4$. Так как напряжение обмоток трансформатора не превышает 500 *в*, достаточно, чтобы каждая из прокладок имела толщину $d_п = 0{,}5$ *мм*. Чтобы при данной толщине прокладки обладали достаточной механической прочностью, необходимо в качестве материала для них применить пропитанное изоляционным лаком полотно (кембрик).

Выбрав толщину прокладок, можно с помощью формулы (59) проверить достаточность места для размещения всех обмоток на каркасе, имеющем $l_к = 15$ *мм*,

$$l_к = 1{,}25 \cdot (m_{1А} \cdot d'_{1А} + m_{1Б} \cdot d'_{1Б} + m_{1В} \cdot d'_{1В} + m_{II} \cdot d'_{II} + m_{III} \cdot d'_{III} + m_{IV} \cdot d'_{IV}) + d_и \cdot n + 1{,}5 =$$

$$= 1{,}25\,(4{,}5 \cdot 0{,}39 + 4{,}5 \cdot 0{,}39 + 1 \cdot 0{,}54 + 13 \cdot 0{,}23 + 1 \cdot 1{,}05 + 1 \cdot 1{,}05) + 0{,}5 \cdot 4 + 1{,}5 = 15 \text{ мм}.$$

Следовательно, обмотки с необходимыми прокладками на каркасе разместятся.

3. РАСЧЕТ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

Расчет сердечника автотрансформатора. Принимаем следующие обозначения (фиг. 39):

U_c — напряжение питающей сети, *в*;

$I_{c\,120}$ и $I_{c\,220}$ — токи, потребляемые выпрямителем с автотрансформатором соответственно, при напряжениях сети 120 и 220 *в*, *а*;

P_c — мощность, потребляемая от сети выпрямителем с автотрансформатором, *вт*;

$P_{АТ}$ — расчетная мощность автотрансформатора, *вт*;

U_{II} — выпрямляемое напряжение, определяемое в зависимости от схемы выпрямителя по формулам (8), (11), *в*;

I_{II} — ток в повышающей секции обмотки, определяемый в зависимости от схемы выпрямителя по формулам (9), (16) или (20);

$U_н$ — напряжение, необходимое для накала приемно-усилительных ламп, *в*;

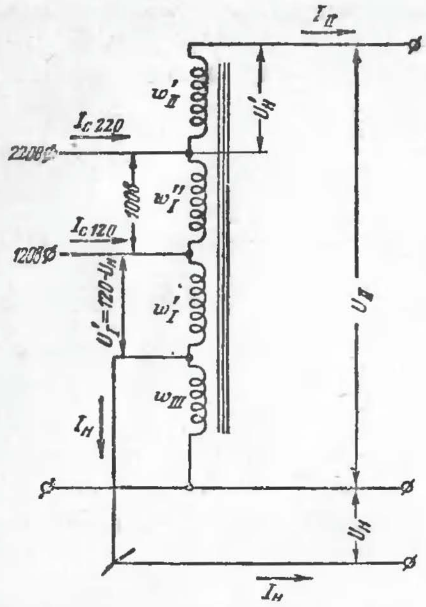
$I_н$ — ток накала, потребляемый лампами, *а*;

$U'_{II} = U_{II} - U_c$ — напряжение повышающей секции обмотки автотрансформатора, *в*;

I_{III} — ток в секции накала обмотки автотрансформатора, *а*.

Прежде всего вычисляем мощность P_c, которая будет потребляться выпрямителем с автотрансформатором от сети, по формуле:

$$P_c = (1{,}1 \div 1{,}3) \cdot (U_{II} \cdot I_{II} + U_н \cdot I_н). \quad (61)$$



Фиг. 39. Схема автотрансформатора для селенового выпрямителя по однополупериодной или мостовой схеме.

Коэффициент 1,1 берется для выпрямителя по мостовой схеме, коэффициент 1,3 для выпрямителя по обычной однополупериодной схеме.

Далее определяются токи, потребляемые выпрямителем с автотрансформатором от сети при напряжениях 120 и 220 *в*:

$$I_{c\,120} = \frac{P_c}{120} \quad (62)$$

и

$$I_{c\,220} = \frac{P_c}{220}. \quad (62')$$

Величина расчетной мощности автотрансформатора, необходимая для выбора сердечника, вычисляется дважды по формулам:

$$P_{АТ} = 1{,}1 \cdot [(U_{II} - 120) \cdot I_{II} + U_н \cdot (I_н + I_{II} - I_{c\,120})], \quad (63)$$

$$P_{АТ} = 1{,}1 \cdot [(U_{II} - 220) \cdot I_{II} + U_н \cdot (I_н + I_{II} - I_{c\,220})]. \quad (63')$$

и из полученных результатов берется бо́льшая ее величина.

Если предполагается изготовить автотрансформатор с обмоткой накала, изолированной от обмотки, включаемой в сеть, расчетная мощность автотрансформатора будет:

$$P_{АТТ} = 1{,}1 \cdot [(U_{II} - 120) \cdot I_{II} + U_н \cdot I_н)]. \quad (64)$$

Тип сердечника выбирается так же, как и в случае расчета трансформатора с помощью табл. 3.

Подставляя в формулу (45) вместо величины P_T вычисленную величину $P_{АТ}$ или $P_{АТТ}$, определяем толщину пакета сердечника автотрансформатора d_c и далее по формуле (46) — сечение сердечника автотрансформатора Q_c.

Расчет секций обмотки автотрансформатора. Число витков w_{III} секции обмотки, с концов которой будет подаваться напряжение накала, и диаметр провода d_{III} этой секции:

$$w_{III} = \frac{48 \cdot U_н}{Q_c} \qquad (65)$$

и

$$d_{III} = 0{,}8 \cdot \sqrt{I_н + I_{II} - I_{c\,220}}. \qquad (66)$$

Число витков сетевой секции на 120 *в* и диаметр ее провода находятся по формулам:

$$w_{I}' = \frac{48 \cdot (120 - U_н)}{Q_c} \qquad (67)$$

и

$$d_{I}' = 0{,}8 \cdot \sqrt{I_{c\,120} - I_{II}}. \qquad (68)$$

Число витков следующей секции обмотки и диаметр ее провода определяются по формулам:

$$w_{I}'' = \frac{5\,000}{Q_c} \qquad (69)$$

и

$$d_{I}'' = 0{,}8 \cdot \sqrt{I_{c\,220} - I_{II}}. \qquad (70)$$

Число витков повышающей секции и ее диаметр провода без изоляции:

$$w_{II}' = \frac{52 \cdot (U_{II} - 120)}{Q_c} \qquad (71)$$

и

$$d_{II}' = 0{,}8\sqrt{I_{II}}. \qquad (72)$$

Если полученные по формулам диаметры проводов не соответствуют стандартным, они увеличиваются до ближайших стандартных величин.

Затем нужно произвести проверочный расчет на возможность размещения секций обмотки автотрансформатора на каркасе подобно тому, как это делается для трансформатора.

Для случая автотрансформатора с изолированной обмоткой накала числа витков сетевой обмотки рассчитываются по формулам (47), (49) и (50), а число витков w_{III} и диаметр провода d_{III} обмотки накала вычисляются по формулам (54) и (56).

Если d_{II}' по расчету получится больше диаметра провода d_{I}'' предыдущей секции, то обе последних секции наматываются проводом с диаметром, полученным расчетом по формуле (72).

Проверочный расчет на возможность размещения всех секций на каркасе производится так же, как и при расчете трансформатора.

Пример 11. Рассчитать автотрансформатор, повышающий напряжение с 120 до 220 *в*, с целью осуществления питания от 120-вольтовой сети селенового выпрямителя, построенного в соответствии с расчетом, выполненным в примере 5 (стр. 52). Предусмотреть в автотрансформаторе секцию обмотки для питания накала приемно-усилительных ламп с напряжением $U_н = 6{,}3$ *в* при токе $I_н = 1{,}6$ *а* (фиг. 39).

Так как из указанного расчета известно, что выпрямитель дает ток $I_в = 80$ *ма* при напряжении на входе фильтра $U_в = 242$ *в*, а внутреннее эквивалентное сопротивление селенового столба $r_к = 140$ *ом*, то можно определить ток, который будет итти в повышающей обмотке автотрансформатора. Для этого сначала определяем эквивалентное сопротивление нагрузки выпрямителя, приведенное к входу его фильтра,

$$R_в = \frac{1\,000 \cdot U_в}{I_в} = \frac{1\,000 \cdot 242}{80} \approx 3\,000 \text{ ом}$$

и отношение

$$\frac{r_к}{R_в} = \frac{140}{3\,000} = 0{,}046.$$

По графику фиг. 6 находим, что при данном соотношении $\frac{r_к}{R_в} = 0{,}046$ эффективное значение тока во вторичной обмотке трансформатора будет в 2,37 раза больше выпрямленного тока $I_в$, т. е.

$$I_{II} = 2{,}37 \cdot 80 \approx 190 \text{ ма} = 0{,}19 \text{ а}.$$

Теперь определяем по формуле (61) мощность, которая будет потребляться выпрямителем от сети:

$$P_c = 1{,}3 \cdot (U_{II} \cdot I_{II} + U_н \cdot I_н) = 1{,}3 \cdot (220 \cdot 0{,}19 + 6{,}3 \cdot 1{,}6) = 68 \text{ вт}$$

и по формуле (62) ток, потребляемый автотрансформатором от сети,

$$I_c = \frac{P_c}{U_c} = \frac{68}{127} \approx 0{,}54 \text{ а}.$$

Расчетная мощность автотрансформатора по формуле (63)

$$P_{AT} = 1{,}1 \cdot [(220 - 120) \cdot 0{,}19 + 6{,}3 \cdot (1{,}6 + 0{,}19 - 0{,}54)] = 30 \text{ вт}.$$

Для такого маломощного автотрансформатора можно применить сердечник из пластин типа Ш-20 (№ 7 по табл. 3). Выписываем из таблицы необходимые для расчета геометрические размеры сердечника: $l_c = 20$ *мм* $= 2$ *см*; $l_o = 18$ *мм*; $h_o = 56$ *мм* $= 5{,}6$ *см*; $Q_o = l_o \cdot h_o = 10{,}07$ *см*². Задаемся коэффициентом заполнения окна сердечника $k_м = 0{,}3$, учитывая, что выбранный нами сердечник имеет относительно большое окно и что намотку будем производить проводом ПЭ.

Необходимую толщину пакета сердечника вычисляем по формуле (45)

$$d_c = \frac{0{,}58 \cdot P_{AT}}{l_c \cdot Q_o \cdot k_м} = \frac{0{,}58 \cdot 30}{2 \cdot 10{,}07 \cdot 0{,}3} \approx 3 \text{ см} = 30 \text{ мм}.$$

Сечение такого сердечника будет $Q_c = 2 \times 3 = 6$ *см*.

Приступаем к расчету обмотки автотрансформатора. По формуле (65) определяем число витков w_{III} секции накала приемно-усилительных ламп:

$$w_{III} = \frac{48 \cdot U_н}{Q_c} = \frac{48 \cdot 6{,}3}{6} = 51 \text{ виток}$$

и по формуле (66) диаметр провода этой секции[1]:

$$d_{III} = 0{,}8 \sqrt{1{,}6 + 0{,}19 - 0{,}54} = 0{,}9 \text{ мм}.$$

Принимаем ближайший стандартный диаметр провода 0,93 *мм*; диаметр такого провода марки ПЭ с учетом изоляции будет 0,98 *мм*.

По формуле (67) вычисляем число витков сетевой секции обмотки:

$$w_I' = \frac{48\,(120 - 6{,}3)}{6} = 910 \text{ витков}$$

и по формуле (68) диаметр провода этой секции:

$$d_I' = 0{,}8 \cdot \sqrt{0{,}54 - 0{,}19} = 0{,}47 \text{ мм}.$$

Провод ПЭ 0,47 с учетом изоляции имеет диаметр 0,5 *мм*.

По формуле (71) определяем число витков повышающей секции

$$w_{II}' = \frac{52 \cdot (220 - 120)}{6} = 870 \text{ витков}$$

по формуле (72) диаметр провода этой секции:

$$d_{II}' = 0{,}8 \cdot \sqrt{I_{II}} = 0{,}8 \cdot \sqrt{0{,}19} = 0{,}35 \text{ мм}.$$

Провод ПЭ 0,35 с учетом изоляции имеет диаметр 0,39 *мм*.

Возможность размещения всех секций обмотки на каркасе проверяем так же, как при расчете трансформатора.

---

[1] Так как наш автотрансформатор рассчитывается только на питание от сети с напряжением 120 *в*, то в формулы (66) и (68) вместо величины $I_{c\,220}$ подставляем величину $I_{c\,120}$, а в формуле (71) число 220 заменяем числом 120.

4. РАСЧЕТ ДРОССЕЛЕЙ

Для дросселя сглаживающего фильтра может быть применен сердечник с объемом стали V_c, удовлетворяющим следующему условию:

$$V_c \geqslant \frac{L_ф \cdot I_в^2}{D}, \tag{73}$$

где V_c — в *см*³, $L_ф$ — *гн* и $I_в$ — в *ма*. Коэффициент D находим по графику фиг. 40, задаваясь числом ампервитков $aw_0 = 15 \div 30$.

Вычислив объем сердечника, подбираем по табл. 3 сердечник с объемом V_c не меньше расчетного, находим по той же таблице его Q_c и $l_м$ и вычисляем необходимое число витков дросселя по формуле

$$w = F \cdot \sqrt{\frac{L_ф \cdot l_м}{Q_c}}. \tag{74}$$

Коэффициент F для принятого числа ампервитков подмагничивания aw_0 также находим по графику фиг. 40.

Диаметр провода, необходимого для обмотки, вычисляем по формуле

$$d = (0{,}027 \div 0{,}03) \cdot \sqrt{I_в} \tag{75}$$

и проверяем допустимость применения такого провода из соображений обеспечения необходимого активного сопротивления $L_ф$ по формуле

$$d = 0{,}015 \cdot \sqrt{\frac{w \cdot l_в}{R_ф}}. \tag{76}$$

Принимаем больший диаметр провода, полученный при вычислениях по формулам (75) и (76).

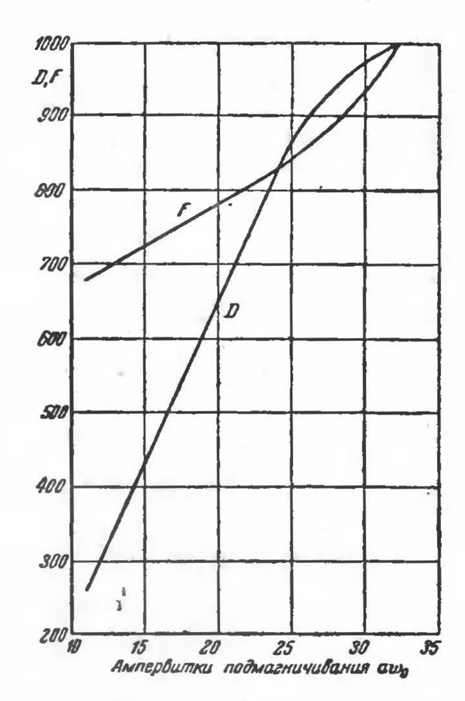
Далее проверяем возможность размещения обмотки на каркасе по формуле

$$h_к \cdot l_к \geqslant (1{,}2 \div 2) \cdot d^2 \cdot w. \tag{77}$$

Коэффициент 1,2 принимаем, если предполагается намотку вести слоями (виток к витку), а коэффициент 2, если намотка будет вестись вразброс.

Если неравенство (77) не удовлетворяется, значит необходимое число витков w не удается разместить на кар-

каркасе. Тогда надо задаться меньшей величиной aw_0, выбрать сердечник с большим объемом V_c, большей площадью окна Q_o и с большим сечением Q_c и заново произвести расчет обмотки дросселя.



Фиг. 40. График для определения коэффициентов D и F при расчете дросселя.

Толщина прокладки в зазоре дросселя в *мм* определяется по формуле

$$l_з = \frac{w \cdot I_в}{16} \cdot 10^{-5}. \quad (78)$$

Пример 12. Рассчитать дроссель к сглаживающему фильтру (см. пример 6 на стр. 69) с индуктивностью $L_ф = 30$ *гн*, с сопротивлением обмотки не более $R_ф = 700$ *ом* на постоянную слагающую тока $I_в = 40$ *ма*.

Задаваясь числом ампервитков подмагничивания $aw_0 = 25$, по графику на фиг. 40 находим вспомогательные коэффициенты $D = 860$ и $F = 840$.

По формуле (73) вычисляем минимально необходимый объем сердечника

$$V_c = \frac{L_ф \cdot I_в^2}{D} = \frac{30 \cdot 40^2}{860} = 56 \text{ см}^3.$$

Обращаясь к табл. 3, находим, что наиболее подходящим сердечником является сердечник из пластин типа Ш-20 (№ 6) с толщиной набора $d_c = 20$ *мм*, обладающих следующими геометрическими размерами $V_c = 59{,}5$ *см*^{3}; $Q_c = 4$ *см*^{2}; $l_м = 10{,}86$ *см* и $l_в = 13{,}1$ *см*.

По формуле (74) вычисляем число витков дросселя

$$w = F \cdot \sqrt{\frac{L_ф \cdot l_м}{Q_c}} = 840 \cdot \sqrt{\frac{30 \cdot 10{,}86}{4}} = 7\,560 \text{ витков.}$$

Принимаем 7 600 витков.

Диаметр провода обмотки из расчета допустимой плотности тока [(формула 75)]:

$$d = 0{,}03 \cdot \sqrt{I_в} = 0{,}03 \cdot \sqrt{40} = 0{,}19.$$

Диаметр провода обмотки, обеспечивающей получение допустимого сопротивления $R_ф = 700$ *ом* [(формула 76)]

$$d = 0{,}015 \cdot \sqrt{\frac{w \cdot l_в}{R_ф}} = 0{,}015 \cdot \sqrt{\frac{7\,600 \cdot 13{,}1}{700}} = 0{,}18 \text{ мм.}$$

Следовательно, провод с типовым диаметром $d = 0{,}2$ *мм* будет вполне пригоден для намотки как из соображений допустимого сопротивления, так и по плотности тока.

По формуле (77) проверяем возможность размещения обмотки на каркасе при условии ее плотной намотки и расчет дросселя заканчиваем определением по формуле (78) толщины прокладки в зазоре его сердечника

$$l_з = \frac{w \cdot I_в}{16} \cdot 10^{-5} = \frac{7\,600 \cdot 40}{16} \cdot 10^{-5} = 0{,}19 \text{ мм.}$$



СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

КЕНОТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. Простейшие кенотронные выпрямители без трансформаторов 5
2. Однополупериодные выпрямители с трансформаторами и автотрансформаторами 23
3. Двухполупериодные выпрямители 29
4. Схемы выпрямителей с удвоением напряжения 37

СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. Селеновый выпрямительный столбик 45
2. Однополупериодные селеновые выпрямители 48
3. Двухполупериодные селеновые выпрямители 54
4. Мостовые схемы селеновых выпрямителей 56
5. Схемы селеновых выпрямителей с удвоением напряжения . . 59

СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

1. Назначение фильтров 61
2. Дроссельно-емкостный фильтр 64
3. Реостатно-емкостный фильтр 70
4. Многоячеечные фильтры 73
5. Электролитические конденсаторы 77

ПИТАНИЕ НАКАЛА

1. Питание накала от силовых трансформаторов и автотрансформаторов 79
2. Питание накала в бестрансформаторных схемах выпрямителей 80

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ, АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ И ДРОССЕЛИ ФИЛЬТРОВ

1. Конструкции трансформаторов, автотрансформаторов и дросселей 82
2. Расчет силовых трансформаторов 88
3. Расчет автотрансформаторов 96
4. Расчет дросселей 101

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ФИЛЬТРОВ К ВЫПРЯМИТЕЛЯМ АНОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Рабочее напряжение $U_{раб}$, в	Емкость C, мкф	КЭС-1, КЭС-2 КЭ-1, КЭ-2		КЭ-3	Рабочее напряжение $U_{раб}$, в	Емкость C, мкф	КЭС-1, КЭС-2 КЭ-1, КЭ-2		КЭ-3
		диаметр d, мм	высота h, мм	диаметр[1] d, мм			диаметр d, мм	высота h, мм	диаметр d, мм[1]
150	8	—	—	17,5	400	4	—	—	20,5
	10	21	35	—		5	21	35	—
	20	21	35	20,5		8	—	—	23,5
	30	26	60	—		10	26	60	—
						20	26	60	—
300	4	—	—	17,5	450	4	—	—	20,5
	5	21	35	—		5	21	35	—
	8	—	—	20,5		8	-	—	23,5
	10	26	60	—		10	26	60	—
	20	26	60	25,5		20	34	65	—
	30	26	60	—	500	5	26	60	—
						10	34	65	—
						20	34	65	—

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ШУНТИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ СМЕЩЕНИЯ И К ФИЛЬТРАМ НА МАЛЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

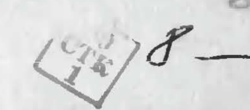
Рабочее напряжение $U_{раб}$, в	Емкость C, мкф	КЭС-1, КЭС-2 КЭ-1, КЭ-2		КЭ-3	Рабочее напряжение $U_{раб}$, в	Емкость C, мкф	КЭС-1, КЭС-2 КЭ-1, КЭ-2		КЭ-3
		диаметр d, мм	высота h, мм	диаметр[1] d, мм			диаметр d, мм	высота h, мм	диаметр d, мм[1]
12	30	16*	28	—	30	20	16*	28	—
	50	19*	28	—		30	19*	28	—
	100	21	35	17,5		50	21	35	20,5
	200	26	60	—		100	26	60	—
	500	34	65	—		200	34	65	—
	1 000	34	114	—		500	34	114	—
	2 000	50	114	—					
20	20	16*	28	—	50	10	19*	28	—
	30	16*	28	—		20	19*	28	17,5
	50	19*	28	17,5		30	21	35	—
	100	21	35	20,5		50	21	35	27,5
	200	26	60	—		1 000	34	65	—
	500	34	90	—		—	—	—	—
	1 000	50*	114	—		—	—	—	—
	2 000	65*	114	—		—	—	—	—

[1] Длина корпусов всех конденсаторов КЭ-3 равна 47 *мм*.

* Конденсаторы в корпусах диаметром 16, 19, 50 и 65 *мм* типов КЭС-2 и КЭ-2 с гайками для крепления не изготовляются.

Общие виды и значение размеров *d* и *h* см. на фиг. 34 (стр. 78).





Цена 3 р. 25 к.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, дом 10

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

под общей редакцией академика А. И. БЕРГА

ПЕЧАТАЮТСЯ И В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ ПОСТУПЯТ В ПРОДАЖУ

Аппаратура для ремонта и налаживания приемников (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки).

Аппаратура для сельской радиофикации (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки).

БАРДАХ И. М. и ТРОИЦКИЙ Л. В., Любительские телевизоры.

КОНАШИНСКИЙ Д. А. и ТУРЛЫГИН С. Я., Введение в технику УКВ.

ЛАБУТИН В. К., Радиоузел и абонентская точка.

ЛИВШИЦ С. Я., Феррорезонансные стабилизаторы напряжения.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

БЕКТАБЕГОВ А. К. и ЖУК М. С., Граммофонные звукосниматели. 48 стр., ц. 1 р. 50 к.

ВЕТЧИНКИН А. Н., Простейшие сетевые приемники. 56 стр., ц. 1 р. 75 к.

ЛОГИНОВ В. Н., Радиотелеуправление. 72 стр., ц. 2 р. 25 к.

Приемники на любительской выставке (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 64 стр., ц. 2 р. 25 к.

РАБЧИНСКАЯ Г. И., Радиотехнические материалы.

Радиолюбительская аппаратура в народном хозяйстве (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 48 стр., ц. 1 р. 50 к.

СЕННИЦКИЙ В. П., Самодельные гальванические элементы. 64 стр., ц. 2 р.

СНИЦЕРЕВ Г. А., Простейшие измерения. 80 стр., ц. 2 р. 50 к.

ПРОДАЖА во всех книжных магазинах и киосках СОЮЗПЕЧАТИ